

CONCRETO

& Construções

CONTROLE TECNOLÓGICO

ENSAIOS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO E DE SUAS ESTRUTURAS



IBRACON
Instituto Brasileiro de Concreto

Ano XLV

86

ABR-JUN
2017

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

ROBERTO BAUER: PAPEL DOS
LABORATÓRIOS NA QUALIDADE
CONSTRUTIVA

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

ADITIVOS PARA
CONCRETO DE PAREDES

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

NORMAS BRASILEIRAS
RECÉM-PUBLICADAS SOBRE
CONCRETO PRÉ-FABRICADO

EMPRESAS E ENTIDADES LÍDERES DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ASSOCIADAS AO IBRACON

ADITIVOS



ADIÇÕES



JUNTAS



EQUIPAMENTOS



ARMADURA



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



JUNTE-SE A ELAS

Associe-se ao IBRACON em defesa e valorização da Arquitetura e Engenharia do Brasil !

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



CONSTRUTORAS



FÓRMAS



CIMENTO



LafargeHolcim



GOVERNO



CONCRETO



Esta edição é um oferecimento das seguintes Entidades e Empresas



Adote concretamente

a revista **CONCRETO & Construções**



**CRÉDITOS
CAPA**

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA
TENACIDADE EM CONCRETO COM
FIBRA. GRUPO FALCÃO BAUER

SEÇÕES

- 6 Editorial
- 7 Coluna Institucional
- 8 Converse com o IBRACON
- 10 Encontros e Notícias
- 13 Personalidade Entrevistada:
Roberto Bauer
- 35 Entidades da Cadeia
- 63 Mantenedor
- 72 Seção Especial: Ensino e
Aprendizado na Engenharia Civil
- 96 Acontece nas Regionais



REVISTA OFICIAL DO IBRACON

Revista de caráter científico, tecnológico e informativo para o setor produtivo da construção civil, para o ensino e para a pesquisa em concreto.

ISSN 1809-7197

Tiragem desta edição:
5.000 exemplares
Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luís Pedrosa - MTB 41.728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

→ Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br

PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira
gill@elemento-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

GRÁFICA

Ipsis Gráfica e Editora
Preço: R\$ 12,00

As ideias emitidas pelos entrevistados ou em artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto.

© Copyright 2017 IBRACON

Todos os direitos de reprodução reservados. Esta revista e suas partes não podem ser reproduzidas nem copiadas, em nenhuma forma de impressão mecânica, eletrônica, ou qualquer outra, sem o consentimento por escrito dos autores e editores.

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

→ Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)

COMITÊ EDITORIAL – MEMBROS

- Arnaldo Forti Battagin (cimento e sustentabilidade)
- Bernardo Tutikian (tecnologia)
- Eduardo Millen (pré-moldado)
- Enio Pazini de Figueiredo (durabilidade)
- Ercio Thomaz (sistemas construtivos)
- Evandro Duarte (protendido)
- Frederico Falconi (projetista de fundações)
- Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
- Helena Carasek (argamassas)
- Hugo Rodrigues (cimento e comunicação)
- Inês L. da Silva Battagin (normalização)
- Íria Lícia Oliva Doniak (pré-fabricados)
- José Martins Laginha Neto (projeto estrutural)
- José Tadeu Balbo (pavimentação)
- Nelson Covas (informática no projeto estrutural)
- Paulo E. Fonseca de Campos (arquitetura)
- Paulo Helene (concreto, reabilitação)
- Selmo Chapira Kuperman (barragens)

COORDENADOR DA SEÇÃO ESPECIAL

→ César Daher (ensino)

IBRACON

Rua Julieta Espírito Santo
Pinheiro, 68 – CEP 05542-120
Jardim Olímpia – São Paulo – SP
Tel. (11) 3735-0202



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Fundado em 1972
Declarado de Utilidade Pública Estadual I Lei 2538 de 11/11/1980
Declarado de Utilidade Pública Federal I Decreto 86871 de 25/01/1982

DIRETOR PRESIDENTE

Julio Timerman

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

Túlio Nogueira Bittencourt

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

Luiz Prado Vieira Junior

DIRETOR 1º SECRETÁRIO

Antonio D. de Figueiredo

DIRETOR 2º SECRETÁRIO

Carlos José Massucato

DIRETOR 1º TESOUREIRO

Claudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º TESOUREIRO

Nelson Covas

DIRETORA DE MARKETING

Íria Lícia Oliva Doniak

DIRETOR DE EVENTOS

Bernardo Tutikian

DIRETORA TÉCNICA

Inês Laranjeira da Silva Battagin

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Paulo Helene

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA

Eduardo Barros Millen

DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Leandro Mouta Trautwein

DIRETOR DE CURSOS

Enio José Pazini Figueiredo

DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE MÃO DE OBRA

Gilberto Antônio Giuzio

DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS

Jéssika Pacheco

ESTRUTURAS EM DETALHES

24 Controle tecnológico de concreto em obras

30 TIP – um novo método para verificação de integridade de fundações de concreto



NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

37 ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado

45 ABNT NBR 16475:2017 – Painéis de parede de concreto pré-moldado

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

51 ENDS para identificação de armaduras em elementos de concreto armado



57 Avaliação dos reparos e reforços estruturais em cobertura abobadada

ENTENDENDO O CONCRETO

66 Muito além do controle tecnológico convencional do concreto



PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

76 ENDS para caracterização de lajes alveolares pré-fabricadas

81 Caracterização e passivação dos aços CA24 e CA50

90 Aditivos especiais para concretos de parede

O futuro do concreto: investindo nos estudantes

Caro leitor,

rente às atuais circunstâncias que estamos enfrentando em nossa atividade profissional e à instabilidade do mercado brasileiro em geral, sinto-me honrada em principiar esta edição da Revista Concreto & Construções, visto que em minhas mãos está a nobre responsabilidade de incentivar de maneira positiva e otimista aqueles que poderão nos conduzir a um cenário mais favorável: os nossos futuros engenheiros.

São eles que hoje vibram nas Arenas dos Congressos Brasileiros do Concreto, de onde estão extraindo parte da experiência necessária para fortalecer o patamar de qualidade e referência tecnológica da engenharia brasileira. E este ano, como não poderia ser diferente, o IBRACON traz a esses alunos desafios atraentes e interessantes em mais uma edição de seus consagrados Concursos Estudantis.

No tradicional concurso Aparato de Proteção ao Ovo (APO), foi adicionada a avaliação da perda de massa após a realização dos ensaios dinâmicos, dando maior importância à resiliência dos pórticos de concreto armado.

Por sua vez, o CONCREBOL, o mais brasileiro de todos os concursos, traz o desafio da análise da melhor relação entre massa específica e a resistência à compressão da esfera de concreto, que demandará uma escolha refinada do traço a ser empregado.

Trazendo cor e beleza ao congresso, o concurso Concreto Colorido de Alta Resistência (COCAR) visa testar neste ano a habilidade dos competidores na preparação de concretos translúcidos com cores vibrantes e de elevada resistência.

Estimulando as atividades interdisciplinares, a atual edição do Concurso OUSADIA propõe a concepção de um projeto básico de uma obra de arte especial em concreto, que garanta a acessibilidade da Rua Santo Antônio à Rua Francisco Luiz Bertolini, localizadas na cidade de Bento Gonçalves/RS, que sediará o

59º Congresso Brasileiro do Concreto.

Completando o desafio dos concursos, este ano teremos a primeira edição do “Concreto:

quem sabe faz ao vivo”, competição que envolverá a dosagem in loco de concretos autoadensáveis coesos, com o menor consumo de cimento possível, que apresentem a maior resistência à compressão em 24h.

Este incentivo pela busca por soluções mais eficientes e inovadoras contagia os alunos participantes que, mesmo quando finalizam a graduação, continuam participando através da orientação de novos alunos de sua instituição para as próximas competições. É comum termos conhecimento de depoimentos desses ex-alunos de que a participação nos concursos estudantis lhes proporcionou um aprendizado essencial na área da tecnologia do concreto e de seu adequado controle, tanto no mundo acadêmico como no mundo profissional, auxiliando numa formação sólida, com conhecimento amplo em diversos tipos de concretos especiais.

Nota-se que a ideia dos nossos concursos está diretamente relacionada com um apropriado controle tecnológico do concreto, tema principal desta edição, que conta com artigos redigidos por profissionais de referência nesta área e a entrevista do renomado Eng. Roberto Bauer, além de outros artigos que corroboram a multidisciplinaridade de nossa revista.

Finalizo aqui minha contribuição, com a certeza de que, investindo nas atividades estudantis, estamos num dos caminhos certos para mudarmos a dura conjuntura de nosso país. Boa Leitura!

JÉSSIKA PACHECO

DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS



Atividades voltadas à garantia da qualidade das estruturas de concreto

Esta edição da Revista está dedicada à qualidade e ao controle da qualidade das estruturas de concreto, tema que sempre suscita muito interesse e preocupação por parte de todos os agentes envolvidos com a construção civil, uma vez que o concreto é o material estrutural mais empregado no Brasil e no mundo.

Em uma visão atual e holística, a qualidade das estruturas de concreto é obtida quando almejada desde o planejamento da edificação, passando pelas especificações das fases de projeto, seleção dos insumos e fabricação do concreto, execução das estruturas de concreto e, finalmente, a fase mais extensa que está relacionada ao seu uso e manutenção. Também nessa visão, é importante salientar para a sociedade, clientes e usuários que o custo das estruturas de concreto não é igual ao valor aplicado para erguê-la, mas sim o custo para erguê-la mais o custo para mantê-la ao longo da sua vida útil. Pela conhecida Lei dos Cinco ou Lei de Sitter, também sabemos que o custo para recuperar ou reforçar estruturas de concreto que apresentem problemas oriundos de falhas de projeto pode ser até 125 vezes maior que o custo para produzir uma melhor especificação e detalhamentos das estruturas, na fase de projeto, evitando o aparecimento de futuras manifestações patológicas. Portanto, fica evidente a importância da fase de projeto para diminuir o custo das estruturas de concreto ao longo da sua vida útil, mas também mostra que a fase de manutenção, por ser onerosa e complexa, deve ser revista com muito zelo técnico.

O Estatuto do IBRACON deixa evidente no seu Capítulo II, Art. 3º e parágrafo único, que o Instituto tem como objetivo proporcionar aos estudantes, profissionais e demais intervenientes da cadeia produtiva do concreto, nas áreas de planejamento, projeto, materiais, execução e manutenção, maiores conhecimentos por meio de cursos, eventos, publicações, certificações de pessoal, reuniões tecno-científicas, bem como pela valorização e incentivos às investigações e pesquisas científicas e tecnológicas e sua respectiva divulgação.

Com esse propósito o IBRACON realiza uma série de atividades que contribuem para o desenvolvimento da cadeia produtiva do



concreto. O Programa MasterPec é um curso de educação continuada em Produção de Estruturas de Concreto, que objetiva o desenvolvimento e a difusão do conhecimento atual em projeto, materiais, controle, produção, inspeção, diagnóstico, aplicações, proteção e reabilitação de estruturas de concreto. Neste ano o Instituto oferecerá mais de 160 horas de cursos vinculados ao Programa MasterPec, quase todos com o protagonismo do Instituto e outros em conjunto com Instituições parceiras, os quais podem ser vistos no site do IBRACON (www.ibracon.org.br).

Outra importante ação do IBRACON iniciada neste ano e com forte aderência à última e mais extensa fase do processo

construtivo, a fase de uso e manutenção, foi o lançamento do Curso de Inspetor I de Estruturas de Concreto, realizado em São Paulo, nos dias 31 de março e 1, 7 e 8 de abril. O curso teve o objetivo de apresentar e discutir conteúdos relativos à formação de Inspetores I de Estruturas de Concreto, segundo a recentemente publicada norma ABNT NBR 16230:2013. Além dos temas teóricos apresentados em sala, o curso incluiu uma visita técnica a duas pontes na cidade de São Paulo. Ministraram esse curso os engenheiros Julio Timerman, Paulo Helene, Alexandre Beltrame, Gilberto Giuzio e Enio Pazini Figueiredo. O curso foi um sucesso e muito bem avaliado pelos profissionais participantes, todos oriundos de importantes escritórios e empresas de engenharia nacionais. O Instituto está planejando a realização de outros cursos de Inspetor I e o lançamento do Curso de Inspetor II, inclusive em outras regiões do país, uma vez que é crescente a demanda por profissionais qualificados para inspecionar estruturas de concreto, principalmente as obras de arte.

Esta edição, dedicada ao controle e garantia da qualidade das estruturas de concreto, evidencia a constante preocupação do IBRACON com o desenvolvimento científico e tecnológico e com a disseminação das boas práticas para projetar, executar e manter as estruturas de concreto, tão importantes para a qualidade de vida da sociedade.

ENIO JOSÉ PAZINI FIGUEIREDO
DIRETOR DE CURSOS DO IBRACON

ENVIE SUA PERGUNTA PARA O E-MAIL: fabio@ibracon.org.br

PERGUNTAS TÉCNICAS

QUAL SERIA A FORMA DE CALCULAR OS RESULTADOS NO ENSAIO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA VOLUMÉTRICA (NBR 9204)? NA NORMA É SOLICITADO QUE SEJAM FEITOS DOIS GRUPOS DE CORPOS DE PROVA, UM FICA EM CURA AMBIENTE E OUTRO EM CURA ÚMIDA. CALCULAMOS A MÉDIA DOS 6 CORPOS DE PROVA, INDEPENDENTEMENTE DA CURA, OU TIRAMOS A MÉDIA DOS 3 CORPOS DE PROVA EM CURA ÚMIDA E CURA AMBIENTE SEPARADAMENTE?

A pergunta da técnica tem relação com a qualidade e o controle da qualidade do concreto, temas abordados na presente edição da revista CONCRETO & Construção. A resistividade do concreto é uma propriedade que vem ganhando importância na área da durabilidade das estruturas de concreto, de tal forma que algumas obras importantes incluíram a resistividade como requisito de desempenho e como parâmetro de controle da qualidade de recepção do concreto. Existem duas regiões características num elemento de concreto, as quais possuem valores de resistividade elétrica distintos. Uma região mais superficial, sujeita a ciclos de molhagem e secagem, onde se mede a resistividade elétrica superficial do concreto, e outra região mais interna, onde a umidade é mais estável, na qual se mede a resistividade elétrica volumétrica.

A resistividade pode ser medida por meio de quatro técnicas: Método do eletrodo externo, Método dos dois eletrodos, Método dos quatro eletrodos ou Método de Wenner, e o Método da resistividade elétrica volumétrica. Os três primeiros métodos dizem respeito a resistividade superficial do concreto e estão relacionados com a qualidade e umidade superficial do concreto de cobertura da armadura. Os resultados destes métodos contribuem para avaliação do risco de corrosão que a armadura pode estar sujeita, caso o concreto se carbonata ou caso os cloretos atinjam a armadura na forma livre. O Método de Wenner é o mais empregado para avaliar a resistividade superficial do concreto. O quarto método, que trata da resistividade volumétrica, alvo da pergunta, é o único que possui norma brasileira relativa ao concreto. A ABNT NBR 9204 (2012) – Concreto endurecido: determinação da resistividade elétrico-volumétrica – Método de ensaio, preconiza o método que diz respeito a resistividade das camadas internas do concreto, representando, portanto, uma característica da massa do concreto.

A resposta específica à pergunta encontra-se no Item 8.3, que trata da expressão dos resultados. O referido Item diz que a resistividade elétrica-volumétrica do concreto é expressa, nas respectivas idades (28 dias e 90 dias), pela média aritmética dos

resultados individuais. Na sequência, o Item diz que o valor da média deve estar associado à temperatura e à “umidade relativa média do ambiente nas imediações do corpo de prova”. No caso, tem-se duas umidades nas imediações dos corpos de prova avaliados, sendo uma relativa às condições da câmara úmida e a outra relativa à umidade do laboratório (mais seca). Portanto, o relatório final deve conter para a idade de 28 dias duas médias aritméticas, sendo uma relativa aos três corpos de prova estocados em câmara úmida e a outra média relativa aos três corpos de prova estocados em ambiente de laboratório. Como o Item 6.1.3 da norma reforça dizendo que as determinações da resistividade volumétrica devem ser feitas nas idades de 28 e 90 dias, o mesmo procedimento deve ser adotado na idade de 90 dias, ou seja, determinar mais duas médias para as duas condições de estocagem. Cabe ressaltar que, no cálculo de cada uma das quatro médias, os valores individuais que se afastarem em mais de 10% da média devem ser desprezados e não incluídos no cálculo da nova média de cada grupo.

Mas por que obter a resistividade em condições tão distintas de umidade? A norma técnica da SABESP NTS 162, por exemplo, diz que “a critério da fiscalização pode ser exigida a determinação da resistividade elétrica-volumétrica potencial, para



um concreto na condição saturado com superfície seca (SSS), cujo limite mínimo é de 15.000 ohm.cm.” Já o documento técnico do Metrô de São Paulo (ET-5.00.00.00/3J4-001) apresenta dois requisitos de desempenho, sendo um para a condição úmida, cujo limite mínimo é de 15.000 ohm.cm, coincidente com o critério da SA-BESP, e o outro para a condição seca, cujo limite mínimo é de 60.000 ohm.cm. Portanto, o critério de aceitação e rejeição do concreto, baseado na resistividade elétrica-volumétrica, está associado à condição de serviço da estrutura de concreto. Espero ter respondido a pergunta e ter esclarecido outras questões rela-

tivas a esta importante característica do concreto.

ENIO PAZINI FIGUEIREDO, PROF. TITULAR DA UFG, DIRETOR DE CURSOS DO IBRACON E PRESIDENTE DA ALCONPAT BRASIL

QUAL É O LIMITE DE PAVIMENTOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL? CONHEÇO EDIFÍCIOS COM ATÉ 12 PAVIMENTOS. EXISTE ALGUMA NORMA OU MATERIAL TÉCNICO QUE DEFINE ISSO?

BRUNO ROCHA
KS EMPREITEIRA

Hoje é usual a construção de edifícios de mais do que 12 pavimentos em alvenaria estrutural.

Não há limite de pavimentos em normas

de alvenaria estrutural, ou de concreto armado, ou de estrutural metálicas.

Normas indicam modelos para projeto, características e especificações dos materiais. O limite será definido pela possibilidade dos materiais em resistir aos esforços calculados. Por isso, é importante o uso de materiais de qualidade e fazer um bom controle de obras.

Considerando os blocos de alta resistência hoje disponíveis no mercado brasileiro, em diferentes regiões, têm sido construídos edifícios de cerca de 20 andares em alvenaria estrutural, ainda sendo economicamente viáveis.

GUILHERME PARSEKIAN, PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL



Revista CONCRETO & Construções

A revista CONCRETO & Construções é o veículo impresso oficial do IBRACON.

De caráter científico, tecnológico e informativo, a publicação traz artigos, entrevistas, reportagens e notícias de interesse para o setor construtivo e para a rede de ensino e pesquisa em arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Distribuída em todo território nacional aos profissionais em cargos de decisão, a revista é a plataforma ideal para a divulgação dos produtos e serviços que sua empresa tem a oferecer ao mercado construtivo.

PARA ANUNCIAR

Tel. 11- 3735-0202

arlene@ibracon.org.br

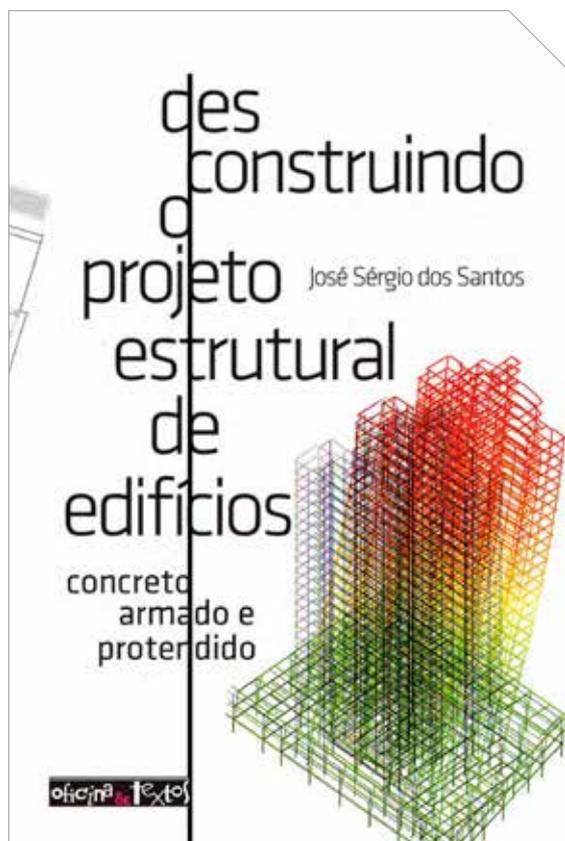
Periodicidade	Trimestral
Número de páginas	100
Formato	21 x 28 cm
Papel	Couché 115 g
Capa plastificada	Couché 180 g
Acabamento	Lombada quadrada colada
Tiragem	5.000 exemplares
Distribuição	Circulação controlada

Consulte o perfil dos profissionais e o ramo de atuação das empresas do mailing:
www.ibracon.org.br (link "Publicações")



Formatos e investimentos

Formato	Dimensões	R\$
2ª Capa + Página 3	42,0 x 28,0 cm	10.285,00
Página Dupla	42,0 x 28,0 cm	9.100,00
4ª Capa	21,0 x 28,0 cm	6.960,00
2ª, 3ª Capa ou Página 3	21,0 x 28,0 cm	6.800,00
1 Página	21,0 x 28,0 cm	6.250,00
2/3 de Página Vertical	14,0 x 28,0 cm	4.880,00
1/2 Página Horizontal	21,0 x 14,0 cm	3.550,00
1/2 Página Vertical	10,5 x 28,0 cm	3.550,00
1/3 Página Horizontal	21,0 x 9,0 cm	2.940,00
1/3 Página Vertical	7,0 x 28,0 cm	2.940,00
1/4 Página Vertical	10,5 x 14,0 cm	2.550,00
Encarte	Sob consulta	Sob consulta



Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios

Embora o projeto estrutural contenha centenas de imagens, muitas vezes a informação contida nas plantas, nos cortes e nos detalhes não é perfeitamente assimilada pelos profissionais responsáveis pela execução da estrutura de concreto armado ou protendido. Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios, de autoria do engenheiro José Sérgio dos Santos, tem por objetivo ajudar esses profissionais a fazer a leitura correta dos projetos que têm em mãos, de modo que a execução seja feita

com o mínimo possível de falhas. Com mais de 100 ilustrações, o livro apresenta de forma prática e didática o projeto de concreto armado e protendido, seguindo, nos capítulos, a sequência em que a obra é executada, iniciando pela locação dos pilares e passando pelo detalhamento de fundações, pilares, cintamento, escada, forma, armadura de lajes, armadura de vigas e protensão.

→ Mais informações:
www.ofitexto.com.br

consultoria e projetos estruturais



viabilização de tráfego de cargas especiais

recuperação e reforço de edificações



adequação funcional de obras de arte

projetos de obras de arte



soluções de qualidade

www.engeti.eng.br

Avenida angélica, 1996 - conj. 404 - Consolação, São Paulo - SP - CEP: 01228-200 Tel: (11) 3666.9289



IBRACON capacita inspetores de estruturas de concreto

Nos dias 31 de março, 01, 07 e 08 de abril, foi realizado pelo IBRACON o Curso Inspetor I – Inspeção em estruturas de concreto segundo a ABNT NBR 16230, voltado à capacitação de profissionais para a inspeção, diagnóstico e prognóstico de estruturas de concreto.

Com a participação de 14 alunos, no primeiro dia os participantes foram apresentados às atribuições do Inspetor I segundo a ABNT NBR 16230, aos problemas e manifestações patológicas mais frequentes nas obras de arte especiais e às expectativas dos contratantes do serviço de inspeção pelo presidente do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Eng. Julio Timerman. Em seguida, os alunos foram introduzidos nas noções básicas de patologia e terapia de estruturas de concreto, com a aula ministrada pelo diretor da PhD Engenharia e conselheiro permanente do IBRACON,



Presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, em momento de sua aula

Prof. Paulo Helene, que enfatizou a importância do diagnóstico e apresentou alguns casos interessantes de inspeção e de acidentes, como os casos da Ponte dos Remédios, da concessão da Ponte Rio Niterói e do colapso da Ponte do Socorro.

No dia seguinte, na parte da manhã,

os alunos receberam do instrutor Eng. Alexandre Beltrame, da Beltrame Engenharia, noções e dicas importantes para o planejamento dos trabalhos de inspeção, como o controle do cronograma, a logística de execução das atividades, a especificação de tarefas e a

CONCERA™

Transformando traços convencionais em concretos fluidos

- ▶ Resistência à segregação
- ▶ Sem exsudação
- ▶ Coesão
- ▶ Robustez
- ▶ Melhor acabamento
- ▶ Redução de mão de obra
- ▶ Velocidade de execução

LANÇAMENTO

Brita

ADITIVO FLUIDIFICANTE
MODIFICADOR
DE REOLOGIA

Cimento

Areia



gcp
applied technologies



gcpat.com

(15) 3235.1323

(15) 99760.7907

distribuição dos equipamentos, instrumentos e materiais, com destaque para as precauções a serem tomadas pela equipe para a minimização de riscos na execução dessas atividades. Na parte da tarde, os alunos aprenderam a ler e interpretar projetos e a cadastrar elementos estruturais, com a orientação do Eng. Julio Timerman, que foi o coordenador das Comissões de Estudos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) das normas

NBR 9452 – Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto – Procedimento e NBR 16230 – Inspeção de estruturas de concreto – Qualificação e Certificação de Pessoal – Requisitos. Os participantes tiveram acesso a essas normas para poderem realizar as tarefas nas salas de aula. Esses dois dias do curso foram realizados no auditório da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Na sexta e sábado seguintes, o curso prosseguiu na EPT Engenharia e Pesquisas Tecnológicas, com aulas sobre a maneira de documentar as manifestações patológicas, como aferir sua gravidade, como coletar amostras e como fazer o relatório de inspeção, ministrada pelo Eng. Gilberto Giuzio, diretor de certificação do IBRACON e da EPT. Para subsidiar o diagnóstico no relatório de inspeção, o professor da Universidade Federal de Goiás e diretor de cursos do IBRACON, Prof. Enio Pazini, apresentou aos participantes os ensaios mais comumente realizados nas



1ª turma assiste à aula do Eng. Alexandre Beltrame

inspeções, balanceando sua aula teórica com uma aula prática no Viaduto General Olímpio da Silveira, na qual os participantes foram apresentados aos equipamentos de ensaio e puderam fazer o levantamento das manifestações patológicas no viaduto. Com carga horária de 28 horas, o curso Inspetor I é uma realização do IBRACON, com a parceria com o IDD, e conta com apoio da ABCP, ALCONPAT Brasil, EPT e Sinaenco. Ele faz parte do Programa Master PEC, programa de educação continuada do IBRACON.

Para informações sobre as próximas turmas, acesse: www.ibracon.org.br



Prof. Paulo Helene, diretor institucional do IBRACON, durante sua aula

▶ Programação de Cursos Master PEC

Curso	Instrutores	Data	Carga horária	Local	Realizador
Intensivo de Tecnologia Básica do Concreto	Rubens Curti e Flávio André da Cunha Munhoz	18 a 20 de julho	18 horas	Sede da ABCP	ABCP
Esclarecendo Reparos e Reabilitações em Estruturas de Concreto	Paulo Helene, Carlos Brites e Jéssika Pacheco	25 de julho	15 horas	Av. Paulista, 509, 13º andar	PhD, IDD, IBRACON
Reforço de Estruturas de Concreto – Soluções Inovadoras	Paulo Helene, Carlos Brites e Douglas Couto	22 de agosto	15 horas	Av. Paulista, 509, 13º andar	PhD, IDD, IBRACON
Diagnóstico e Reabilitação de Estruturas de Concreto	Eliana Monteiro, Enio Pazini Figueiredo e Paulo Helene	31 de agosto	4 horas	Auditório da Faculdade de Ciências da Administração de Pernambuco/ UPE	IBRACON Regional
Execução de Estruturas de Concreto – Engenhosidades e Soluções	Paulo Helene, Carlos Brites e Jéssika Pacheco	3 de outubro	15 horas	Av. Paulista, 509, 13º andar	PhD, IDD, IBRACON
Curso RILEM/IBRACON sobre Especificações de Projeto em Concreto Reforçado com Fibras	Marco di Prisco, Thomaz Buttignol, Barzin Mobasher	31 de outubro e 1º de novembro	12 horas	Fundaparque, Bento Gonçalves, RS	IBRACON
Curso sobre Pré-fabricados	Iria Doniak	1º de novembro	4 horas	Fundaparque, Bento Gonçalves, RS	IBRACON
Dimensionamento de Vigas Isostáticas protendidas	Fábio Albino	2 de novembro	8 horas	Fundaparque, Bento Gonçalves, RS	IBRACON
Artefatos de Concreto Vibroprensado	Idário Fernandes	3 de novembro	4 horas	Fundaparque, Bento Gonçalves, RS	IBRACON

Roberto José Falcão Bauer



Roberto Bauer em Seminário da ABCIC

Filho do engenheiro Luiz Alfredo Falcão Bauer, fundador do centro tecnológico de controle da qualidade homônimo, Roberto José Falcão Bauer, engenheiro civil formado em 1975 pela Escola de Engenharia de Taubaté, foi ser residente das várias obras nas quais o laboratório prestava serviços de controle tecnológico do concreto. O motivo, segundo ele nos informa nesta entrevista, era adquirir conhecimento técnico e aprender a trabalhar em equipe.

Em 1979, já como responsável pela equipe técnica do laboratório de concreto, Roberto foi fazer especialização em patologia de materiais, estruturas e habitabilidade no Instituto Eduardo Torroja da Construção e do Cimento, em Madri, na Espanha.

Seu apetite por aprender e se relacionar não cessou desde então. Desde 1987, Roberto Bauer é professor no curso sobre tecnologia de concreto e aço para mestres e fiscais de obra, ministrado nas dependências do Laboratório L.A. Falcão Bauer, em convênio com o Senai e o Ministério do Trabalho. Ele é também professor da disciplina de materiais de construção civil no curso de Engenharia Civil da Universidade Taubaté (Unitau), desde 1997.

Foi membro da Diretoria do Comitê Brasileiro de Construção Civil (Cobracon) e do Comitê Brasileiro da Construção da Associação Brasileira de Normas Técnicas (CB-02/ABNT), sendo atualmente membro do Conselho Deliberativo do Serviço Social da Construção Civil de São Paulo (Seconci-SP) e do Conselho Consultivo do Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo (Sinduscon-SP), entre outras entidades.

Diretor técnico do Grupo Falcão Bauer até 2016, Roberto, hoje sócio do Grupo, foi agraciado com o Prêmio Luiz Alfredo Falcão Bauer de 2005, concedido ao destaque do ano em engenharia no campo de pesquisas do concreto e materiais constituintes.

IBRACON – NÃO PODERÍAMOS COMEÇAR ESTA ENTREVISTA SEM LHE PERGUNTAR SOBRE A INFLUÊNCIA E OS ENSINAMENTOS DE SEU PAI EM SUA VIDA E CARREIRA PROFISSIONAL,

DEVIDO ÀS SUAS INICIATIVAS COM RELAÇÃO AO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO, AO MONTAR LABORATÓRIOS EM VEÍCULOS QUE PRESTAVAM ATENDIMENTO NO LOCAL

DAS OBRAS E TER O PRIMEIRO LABORATÓRIO DO PAÍS COM ENSAIOS ACREDITADOS PELO INMETRO, EM 1983?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – Um dos



Ensaio de início e fim de pega de cimento

ensinamentos passados por meu pai, que considero de suma importância, foi que, independentemente da profissão que venha a exercer, seja qual for, realmente goste do que faça, seja responsável e dedicado. Após a conclusão do curso superior, meu pai quis que fizesse parte das equipes técnicas de controle tecnológico do concreto, em várias obras durante o período de 1976 a 1978, residente em obras, tais como, das estações da Praça da Sé, do Parque D. Pedro, da conclusão da São Bento, das obras iniciais do terminal Jabaquara, do Metrô de São Paulo; do vertedouro de concreto da barragem da represa de Guarapiranga; do calçadão e galerias de águas pluviais das ruas do centro velho de São Paulo, inúmeras obras da Sabesp e de obras viárias da cidade de São Paulo. Posteriormente, como responsável pela equipe técnica do laboratório de concreto das obras

se relacionar com pessoas, além de participar e ser cobrado praticamente todos os dias por profissionais de altíssimo conhecimento e qualidade. Concluindo, o Dr. Bauer não permitiu que, após a conclusão do curso superior, eu ficasse na “zona de conforto”, mas que participasse, fosse cobrado, estudasse, adquirisse e recebesse conhecimento, e convivesse com pessoas especiais, para criar meu próprio espaço na carreira profissional.

IBRACON – EM LINHAS GERAIS, COMO, QUANDO E POR QUE SURTIU A FALCÃO BAUER? DE QUE FORMA A EMPRESA EVOLUIU E CRESCER PARA TER A PROJEÇÃO QUE TEM HOJE? O QUE FEZ A FALCÃO BAUER DIVERSIFICAR SUAS ATIVIDADES?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – Para a viabilidade do empreendimento, o Dr. Bauer procurou a opinião de alguns amigos, dentre eles Sigmundo Golombek, Roberto Rossi Zuccolo

de arte da Ferrovia do Aço, trecho correspondente ao sul de Minas Gerais. Mais tarde percebi o motivo para que não ficasse inicialmente no laboratório central: era para adquirir conhecimento técnico, aprender a trabalhar em equipe e como

e Augusto Carlos Vasconcelos, contando com o auxílio, experiência, amizade e entusiasmo. No início da década de 60, iniciou com um laboratório de materiais constituintes e instrumentos para concreto, equipando uma “perua” Kombi que ia às obras com finalidade de auxiliar o engenheiro responsável pela construção, na escolha dos materiais e na elaboração das dosagens do concreto. Encontrou apoio nos primeiros clientes, que foram a Construtora Adolfo Lindenberg (CAL), e o Escritório de Arquitetura Botti-Rubin. Entre o final da década de 60 até a de 80, a empresa teve grande crescimento, mudando, em 1973, para a atual sede na rua Aquinos, dispo de laboratórios de ensaios de concreto, agregados, cimento, aço, solos e componentes da construção, bem como de serviços de inspeção e laudos técnicos em estruturas de concreto. Posteriormente, foi incluído o laboratório químico, para realização de ensaios químicos nas áreas de concreto e argamassas, e na indústria. Em 1983 fomos o primeiro laboratório no Brasil a ter ensaios acreditados pelo Inmetro, recebendo o número de acreditação CRL 0003. Na década de 90 iniciamos as atividades do IFBQ – Instituto Falcão Bauer da Qualidade, na área de bens de consumo, construção civil e indústria, sistemas de gestão, dentre outros. Atualmente contamos com inúmeros

“ O DR. BAUER NÃO PERMITIU QUE, APÓS A CONCLUSÃO DO CURSO SUPERIOR, EU FICASSE NA ‘ZONA DE CONFORTO’, MAS QUE ADQUIRISSSE CONHECIMENTO E CONVIVESSE COM PESSOAS ESPECIAIS, PARA CRIAR MEU PRÓPRIO ESPAÇO NA CARREIRA PROFISSIONAL ”



O CONTROLE TECNOLÓGICO TRATA-SE DE UM PROCESSO QUE VISA O REGISTRO E A GARANTIA DA CONFORMIDADE OU FATOS NÃO CONFORMES E AÇÕES CORRETIVAS DOS CONCRETOS PRODUZIDOS E APLICADOS NAS OBRAS



colaboradores em várias áreas de atuação, seja na construção civil, seja na indústria em geral.

O crescimento e diversificação de atividades foram decorrentes das necessidades do mercado, das exigências do Inmetro, que contribui desde 1983 na expertise em ter e manter o foco na qualidade, e principalmente da dedicação de todos nossos colaboradores em manter e preservar os valores e princípios do fundador da empresa.

IBRACON – O QUE É O CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO? QUAIS OS ENSAIOS TÍPICOS MAIS COMUMENTE REALIZADOS, SEU LUGAR E IMPORTÂNCIA NO PROCESSO CONSTRUTIVO COMO UM TODO?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – Trata-se de um processo que visa o registro e a garantia da conformidade ou fatos não conformes e ações corretivas dos concretos produzidos e aplicados nas obras de concreto armado, protendido ou pré-fabricado, com base nas especificações técnicas do projeto estrutural ou de outros documentos técnicos. O controle tecnológico do concreto compreende os serviços relacionados a:

A. Tomada de conhecimento quanto ao:

PROJETO

- ▶ Verificação e análise das

especificações técnicas de projeto, com relação às propriedades, características e respectivas idades do concreto fresco ou endurecido, visando atender aos parâmetros de desempenho, uso, manutenção e durabilidade;

- ▶ Análise conjunta com o construtor dos elementos estruturais a serem concretados com relação a: dimensão máxima do agregado em função da densidade de armadura passiva e de protensão, bem como dimensões das fôrmas, transporte e lançamento do concreto, e características peculiares impostas pelo projeto arquitetônico;

DURABILIDADE

Conhecimento das condições de exposição e ação de agentes externos e classe de agressividade ambiental (micro e macroambiente); pressão hidrostática; ambientes quimicamente agressivos;

MATERIAIS

Materiais disponíveis na região da obra e suas características; definição dos materiais componentes do concreto com base nos requisitos de projeto; estipulação da armazenagem, planos de amostragem, periodicidade e ensaios químicos e físicos para caracterização dos componentes, de acordo com as normas da ABNT;

EQUIPAMENTOS

Equipamentos disponíveis para mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto;

CURA

Processos de cura a serem empregados e período mínimo especificado;

MÃO DE OBRA

Mão de obra disponível, devidamente qualificada e treinada;

B. Fornecimento e verificação



Ensaio de abatimento do concreto

de dosagens que atendam às condições anteriores

C. Acompanhamento da obra

- ▶ Análise da metodologia de execução (plano de concretagem) em conjunto com o engenheiro responsável pelo projeto estrutural, o arquiteto e o construtor;
- ▶ Verificação periódica dos materiais empregados, do estado de manutenção e operação dos equipamentos de mistura, transporte, lançamento e adensamento, bem como dos métodos de cura quanto à sua eficiência;
- ▶ Cuidados requeridos pelo processo construtivo e pela retirada do escoramento, levando em consideração as peculiaridades dos materiais (em particular do cimento)

e as condições de temperatura ambiente;

- ▶ Caso necessário, deverão ser elaborados projetos complementares de escoramento e fôrmas;

D. Realização dos ensaios

- ▶ Ensaios do concreto fresco e endurecido, conforme plano de amostragem previamente definido, de acordo com a NBR 12655 e especificações de projeto; interpretação dos resultados obtidos nos ensaios; eventual correção ou modificação das recomendações iniciais, em face da constatação de variações das características dos materiais empregados, dos equipamentos e da eventual necessidade de correção da avaliação inicial

na eventualidade de se verificar falhas nos elementos estruturais concretados;

- ▶ Fornecimento de relatório técnico sobre os serviços realizados, resultados obtidos e eventuais recomendações.

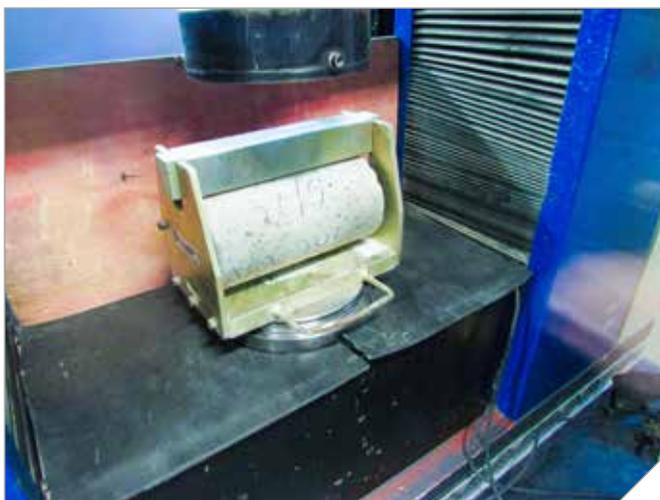
IBRACON – PORQUE, NA SUA OPINIÃO, O ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE É POUCO REALIZADO, JÁ QUE É UMA CARACTERÍSTICA FUNDAMENTAL NAS ESTRUTURAS? POR SER POUCO SOLICITADO, SERIA ESSA UMA RAZÃO DE EM VÁRIAS REGIÕES DO PAÍS NÃO HAVER NENHUM LABORATÓRIO QUE FAÇA ESSE TIPO DE ENSAIO? O QUE FAZER PARA TORNAR ESSE ENSAIO MAIS COMUM?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – Minha primeira experiência com especificações de módulo de elasticidade foi em 1977, no Metrô de São Paulo, no estudo de dosagem do concreto a ser aplicado nas vigas pré-moldadas do elevador entre as estações da Praça da Sé e do Parque Dom Pedro.

O projeto estrutural especificava valores de resistência característica à compressão e módulo de elasticidade do concreto, sendo este último com base na equação teórica (modelo de previsão), constante da norma ABNT NBR 6118 em vigor na época ($E = 21.000 \times \sqrt[2]{f_{ck}}$ em kgf/cm²). Os parâmetros eram $f_{ck} \geq 230$ kgf/cm², relação $a/c \leq 0,56$ e módulo de elasticidade de 318.500 kgf/cm². O valor especificado do módulo

feita sobre o comportamento da obra;

- ▶ Fornecimento de consulta aos interessados no que diz respeito aos métodos construtivos;
- ▶ Fornecimento de instruções e acompanhamento dos serviços de reparo do concreto,



Ensaio de resistência à compressão diametral em concreto

“

O VALOR ESPECIFICADO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ERA SUPERESTIMADO. PROVAVELMENTE A EQUAÇÃO FORA OBTIDA COM BASE EM RESULTADOS DE ENSAIOS DE CONCRETO MASSA, USUAIS EM BARRAGENS

”





O PROFISSIONAL [ENVOLVIDO COM O CONTROLE TECNOLÓGICO] RECEBE, ALÉM DE TREINAMENTOS EM CURSOS, AVALIAÇÃO DAS RESPECTIVAS ATIVIDADES, TREINAMENTO EM RELAÇÃO À SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO, AO USO DE EPIs, ETC.



de elasticidade era superestimado. Provavelmente a equação fora obtida com base em resultados de ensaios de concreto massa, usuais em barragens (concretos com elevado teor de agregado graúdo).

Durante o estudo da dosagem em laboratório, com emprego de agregado graúdo (brita 1 e 2) de origem granítica, lançamento convencional e abatimento de 80 ± 20 mm, constatamos que, para atender os parâmetros especificados, o concreto não apresentaria trabalhabilidade adequada aos elementos estruturais, que possuíam armadura passiva e de protensão, para lançamento e adensamento do concreto (devido ao teor elevado de agregado graúdo). Após inúmeras reuniões técnicas, a dosagem do concreto foi elaborada com teor de argamassa mínimo e necessário para o adequado lançamento e adensamento. Após a realização de ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade, em 100 amostras de concreto, a relação obtida foi $E = 17.000 \times \sqrt[2]{f_{ck}}$ em kgf/cm^2 . Com relação à pouca realização dos ensaios de módulo de elasticidade devemos ter consciência de que concretos de qualidade devem atender às especificações técnicas de projeto.

É de vital importância que seja valorizado o projeto estrutural e que as especificações técnicas sejam devidamente analisadas e atendidas

► Quadro 1 – Profissionais de controle tecnológico do concreto

Áreas de trabalho		
Coordenação Engenheiro Civil		
Laboratório	Campo	Central de concreto
Laboratorista	Tecnologista	Tecnologista
Auxiliar de laboratorista	Auxiliar de tecnologista	Auxiliar de tecnologista
Moldador	Moldador	–

pelo construtor. Após a escolha da empresa de serviços de concretagem que fornecerá o concreto à obra, as dosagens devem ser previamente verificadas com relação ao atendimento às especificações técnicas, inclusive determinação do módulo de elasticidade e demais características, antes do início da obra.

IBRACON – QUAIS SÃO OS PROFISSIONAIS RESPONSÁVEIS POR REALIZAR ESSES ENSAIOS EM CADA ETAPA DO PROCESSO CONSTRUTIVO? COMO É A HIERARQUIA DOS PROFISSIONAIS QUE TRABALHAM NUM LABORATÓRIO DE CONTROLE TECNOLÓGICO? COMO SE DÁ A RELAÇÃO ENTRE OS LABORATÓRIOS E SEUS CLIENTES EM TERMOS DE DIVISÃO DE RESPONSABILIDADES?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – As equipes que atuam em um laboratório de controle tecnológico são constituídas por pessoas de vários níveis de formação e qualificação, sempre supervisionadas por engenheiro civil (Quadro 1). O engenheiro civil deverá ter experiência em tecnologia do concreto

nas áreas específicas, com atribuições de programar, distribuir, coordenar e fiscalizar os trabalhos executados no campo e no laboratório.

Os colaboradores recebem instruções a respeito de:

- Quem vai fazer (responsáveis pelas atividades);
- O que deve ser feito (atividades a serem executadas);
- Quando deve ser feito (cronograma das atividades);
- Onde deve ser feito (locais das atividades);
- Por que deve ser feito (finalidade das atividades);
- Como deve ser feito (método, materiais, máquinas, mão de obra, metrologia, meio ambiente e recursos);
- Itens de verificação e controle (listas de verificação, indicadores e monitoramento);

O profissional recebe, além de treinamento em cursos formais, internos e externos, avaliação das respectivas atividades, treinamento em relação à saúde e segurança no trabalho, ao uso de equipamentos



Ensaio de determinação da Tenacidade em concreto com Fibra

de proteção individual, às condições básicas preestabelecidas de acordo com o cargo e às responsabilidades com relação às respectivas funções, atividades principais, documentações e formulários de registros.

Sempre é avaliado o desempenho dos colaboradores. Também são previstos treinamentos específicos, visando à reciclagem, ao aumento de conhecimento técnico e às eventuais revisões de normas e procedimentos, seja de normas técnicas nacionais ou internacionais, seja de regulamentos internos da empresa.

A qualidade é obtida por quem faz o trabalho e não por quem controla; quem controla monitora, documenta e registra a qualidade ou falta de qualidade das atividades. É de vital importância nos conscientizarmos de que a qualidade das construções nasce com o projeto e especificações, se consolida na execução e é

preservada no uso, operação e manutenção.

IBRACON – QUAIS REQUISITOS DEVEM SER CONSIDERADOS NA CONTRATAÇÃO DE UM LABORATÓRIO PARA O CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO? POR QUÊ?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER –

Com relação aos laboratórios, que sejam acreditados pelo Inmetro, ou pré-qualificados e devidamente avaliados por critérios objetivos e preestabelecidos no manual da qualidade do contratante e formalizados pelo departamento da qualidade das construtoras. Então, mediante documentação técnica contendo as especificações dos trabalhos e atividades a serem realizados, os mesmos possam apresentar sua proposta técnico comercial.

IBRACON – COMO É O PROCEDIMENTO PARA A ACREDITAÇÃO DE UM LABORATÓRIO PELO INMETRO? QUAIS PARÂMETROS SÃO AVALIADOS? QUAL É A PERIODICIDADE DESSA AVALIAÇÃO?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – O laboratório interessado na acreditação deve disponibilizar à DICLA (Divisão de Acreditação de Laboratórios) a

documentação referente ao processo de acreditação através do Sistema Orquestra do Inmetro, tais como:

- ▶ Documentação legal;
- ▶ Documentação do sistema de gestão da qualidade implementado;
- ▶ Relatório de análise crítica pela alta direção dos resultados do laboratório;
- ▶ Relatório da última auditoria interna para o escopo solicitado;
- ▶ Documentação referente à participação em ensaios de proficiência;
- ▶ Documentação referente aos requisitos técnicos (procedimentos, metodologias, formulários, incerteza de medição, calibração de equipamentos).

Os documentos necessários estão descritos em documento específico do Inmetro (documento FOR-CGCRE-017). A DICLA avalia a completeza da documentação e posteriormente realiza o agendamento da avaliação do laboratório. Após a avaliação inicial, o laboratório tem um prazo de 45 dias para envio das evidências das não conformidades, caso haja. Depois do fechamento das ações, é emitido um parecer técnico final pelo avaliador líder ao GA (Gestor de Avaliação). Após o parecer final, o escopo da acreditação é emitido pela CGCRE (Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro).

Os parâmetros avaliados são todos os requisitos que são de responsabilidade da alta direção do laboratório (requisitos gerenciais) e os



**A QUALIDADE É OBTIDA POR QUEM FAZ O TRABALHO
E NÃO POR QUEM CONTROLA; QUEM CONTROLA
MONITORA, DOCUMENTA E REGISTRA A QUALIDADE
OU FALTA DE QUALIDADE DAS ATIVIDADES**





SÃO 48 LABORATÓRIOS NO BRASIL, DOS QUAIS APENAS 9 TÊM ACREDITAÇÃO DE ENSAIOS RELACIONADOS A CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO



requisitos técnicos da ISO 17025 – Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaios e Calibração, além de diversas normas complementares da CGCRE. Após a acreditação/avaliação inicial, é realizada uma nova avaliação/ auditoria no período de um ano. As novas avaliações de manutenção são realizadas a cada dois anos, sendo que essa periodicidade pode ser reduzida com base no resultado da auditoria, caso seja satisfatória.

IBRACON – No universo dos laboratórios de controle tecnológico do concreto, qual porcentagem deles é acreditado pelo Inmetro?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – Consta no site do Inmetro, a relação de laboratórios de ensaios acreditados

(RBLE) no setor da construção civil, acreditados pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (CGCRE). São 48 laboratórios no Brasil, dos quais apenas 9 têm acreditação de ensaios relacionados a controle tecnológico do concreto, de acordo com a Norma NBR 12655 Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento, bem como ensaios físicos e químicos dos materiais



Ensaio de compressão axial de corpo de prova de concreto extraído de estrutura

constituintes do concreto, conforme as normas brasileiras (Quadros 2 e 3). No Brasil existem apenas 9 laboratórios de materiais de construção (oito na cidade de São Paulo e um em Goiás), com ensaios

► Quadro 2 – Quantidade de laboratórios de materiais de construção civil acreditados

Estados	Laboratórios de construção civil			Total
	Terceira parte	Senai	Outros	
São Paulo	25	3	5	33
Paraná	1	2	–	3
Goiás	1	–	1	2
Minas Gerais	2	–	–	2
Pernambuco	1	1	–	2
Rio Grande do Sul	1	1	–	2
Santa Catarina	–	2	–	2
Mato Grosso do Sul	–	1	–	1
Rio de Janeiro	–	1	–	1
Nº de laboratórios de materiais de construção civil com ensaios acreditados pelo Inmetro desde 1983 (34 anos)	31	11	6	48

► **Quadro 3 – Quantidade de laboratórios de controle tecnológico do concreto acreditados**

Estados	Controle tecnológico do concreto		
	Observação (1)	Observação (2)	Observação (3)
São Paulo	10	3	8
Paraná	1	–	–
Goiás	1	–	1
Minas Gerais	1	–	–
Pernambuco	1	–	–
Rio Grande do Sul	–	–	–
Santa Catarina	–	–	–
Rio de Janeiro	–	–	–
Mato Grosso do Sul	–	–	–
Nº de laboratórios com ensaios de CT do concreto acreditados pelo Inmetro desde 1983 (34 anos)	14	3	9

1) Ensaio do concreto fresco e de resistência à compressão.

2) Ensaio do concreto fresco e endurecido.

3) Ensaio do concreto fresco, endurecido e materiais constituintes.

Somente o estado de São Paulo e de Goiás tem laboratórios na RBLE, acreditados pela coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (CGCRE) para realização de controle tecnológico do concreto.

Após a realização dos ensaios, os laboratórios inscritos enviam os resultados obtidos ao coordenador do programa.

É realizado um estudo estatístico dos resultados e apresentado um relatório com o desempenho individual, de cada laboratório participante, onde é avaliado, para cada ensaio, o procedimento, os equipamentos e a mão de obra.

Alguns ensaios interlaboratoriais possuem rodada única e anual, outros bianual e, em alguns casos, os ensaios são realizados em diversas rodadas durante o ano.

O laboratório acreditado deve participar de, pelo menos, uma atividade relacionada a cada parte significativa do seu escopo, a cada quatro anos.

Em alguns casos não há programas disponíveis para um determinado escopo. Dessa forma cabe ao laboratório buscar por provedores que atendam aos ensaios desejados e, caso não exista, devem ser realizados outros métodos de garantia da qualidade.

IBRACON – COMO VOCÊ AVALIA O SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS (SINAT)?

COMO TEM SIDO A PARTICIPAÇÃO DO INSTITUTO FALCÃO BAUER COMO INSTITUIÇÃO TÉCNICA AVALIADORA (ITA)? DE QUANTAS AVALIAÇÕES O INSTITUTO JÁ PARTICIPOU? QUAIS FORAM OS MAIORES DESAFIOS NESSAS AVALIAÇÕES E RESULTADOS MAIS MARCANTES?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – O

de controle tecnológico do concreto acreditados pelo Inmetro, conforme pesquisa realizada em 24 de abril de 2017 no site do Inmetro, com relação aos laboratórios da RBLE – Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios Acreditados.

IBRACON – O QUE SÃO OS ENSAIOS INTERLABORATORIAIS? QUAIS LABORATÓRIOS PODEM PARTICIPAR DESSES ENSAIOS? COMO SÃO FEITOS? QUAL SUA PERIODICIDADE? ESSES ENSAIOS SÃO FEITOS PARA TODOS OS ENSAIOS REALIZADOS PELOS LABORATÓRIOS PARTICIPANTES?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – Os ensaios interlaboratoriais fazem parte

das atividades da garantia da qualidade, onde são realizados estudos estatísticos de diversos dados relativos a um mesmo tipo de ensaio. São comparações de resultados entre laboratórios, sejam de ensaio, de calibração, seja de análise clínica, com a finalidade de garantir a qualidade dos mesmos, através da análise da dispersão dos resultados de amostras ensaiadas.

Qualquer laboratório pode participar, independentemente se os ensaios sejam acreditados na ABNT/ISO IEC 17025.

O coordenador do interlaboratorial desenvolve uma amostra padrão e envia aos laboratórios participantes.



OS ENSAIOS INTERLABORATORIAIS SÃO COMPARAÇÕES DE RESULTADOS ENTRE LABORATÓRIOS COM A FINALIDADE DE GARANTIR SUA QUALIDADE, PELA ANÁLISE DA DISPERSÃO DOS RESULTADOS DE AMOSTRAS ENSAIADAS



“

O PROGRAMA (SINAT) TRABALHA COM A HARMONIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO TÉCNICA DOS PRODUTOS, CONSIDERANDO ASPECTOS IMPORTANTES DO USO PROPRIAMENTE DITO

”

SINAT é, sem dúvida, um programa necessário à mobilização da comunidade técnica brasileira, o qual tem como objetivo avaliar produtos que são utilizados nos processos construtivos desenvolvidos no país. Permite operacionalizar procedimentos reconhecidos pela cadeia produtiva do setor e ampliar a utilização de alternativas tecnológicas inovadoras por meio de diretrizes técnicas regulatórias. O programa trabalha com a harmonização de procedimentos de avaliação técnica dos produtos, considerando aspectos importantes do uso propriamente dito, ou seja, promove avaliações considerando o desempenho dos produtos, com foco nas exigências do usuário, evidenciadas na ABNT NBR 15575:2013.

A ITA IFBQ, por meio de seu Polo de Negócios “Inovação na Construção”, atua ativamente no SINAT, tanto na avaliação de produtos como no processo de revisão e de proposição de diretrizes técnicas. Já produziu um total de doze documentos de avaliação técnica (DATEc).

O principal desafio é promover a orientação e disseminação do conhecimento da avaliação por desempenho junto à cadeia produtiva, viabilizando produtos com padrões mínimos de qualidade para a construção civil do país.

IBRACON – O QUE SÃO OS PROCESSOS DE CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS E SISTEMAS

PELO INSTITUTO FALCÃO BAUER DE QUALIDADE? O QUE SE AVALLIA NESSES PROCESSOS? QUE TIPOS DE PRODUTOS E SISTEMAS? QUE GARANTIAS SÃO DADAS AOS CLIENTES E CONSUMIDORES?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER –

A certificação de produtos visa verificar o atendimento às normas técnicas dos produtos, visando a a segurança, o desempenho e, em alguns casos, a eficiência energética e a compatibilidade eletromagnética. Nesse processo são verificados desde o projeto do produto, passando por avaliação de fábrica, acompanhado de ensaios de rotina na fábrica e ensaios de tipo completos no produto, realizados em laboratórios creditados. Já a certificação de sistemas de gestão visa verificar a repetibilidade dos processos. Estes processos podem ser referentes à Qualidade (ISO 9000), Ambiental (ISO 14000), Saúde e Segurança Ocupacional (OHSAS 18000), Responsabilidade Social (SA 8000), entre outros. São auditados e verificados “*in loco*” a implementação dos procedimentos referentes às Normas de Sistema em questão.

A certificação compulsória de produtos no Brasil abrange vários produtos,



Moldagem de corpos de prova para ensaio de resistência à compressão

como componentes automotivos, pneus e rodas, brinquedos, artigos para festas, eletrodomésticos, equipamentos eletromédicos, preservativos, implantes mamários, produtos da construção civil, filtros e bebedouros, equipamentos de proteção individual, equipamentos para postos de combustível, colchões, entre outros.

Os clientes se sentem seguros por colocar no mercado produtos produzidos com qualidade, atendendo às normas técnicas e certificados, e os consumidores que utilizam um produto certificado tem a confiança que os mesmos terão o desempenho esperado e não irão colocar em risco a integridade física dos usuários.

Há também inúmeros programas de qualidade específicos e setoriais, como é o caso do PBQP- H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat), do selo Excelência ABCIC,



Ensaio de compressão de prisma de bloco de concreto

DO CONCRETO, NOS ENSAIOS DOS CORPOS DE PROVA OU NA MOLDAGEM E CURA DESSES CORPOS DE PROVA?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER –

Nos controles efetuados pela L.A. Falcão Bauer, durante vários meses nos últimos anos, constatamos, com

específico da indústria de estruturas pré-fabricadas de concreto.

IBRACON – CONSIDERANDO A EXPERTISE DOS LABORATÓRIOS DA FALCÃO BAUER, QUAL É SUA POSIÇÃO SOBRE OS CONCRETOS NÃO CONFORMES? SUAS CAUSAS ESTÃO NA FALTA DE CONTROLE DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO

relação aos resultados de resistência à compressão de corpos de prova ensaiados, que as porcentagens de exemplares com $f_{cj} < f_{ck}$ variaram entre 1,5% e 6,0% (Quadro 4). Mediante rastreabilidade (pelo mapeamento quando do lançamento do concreto ou por ensaios não

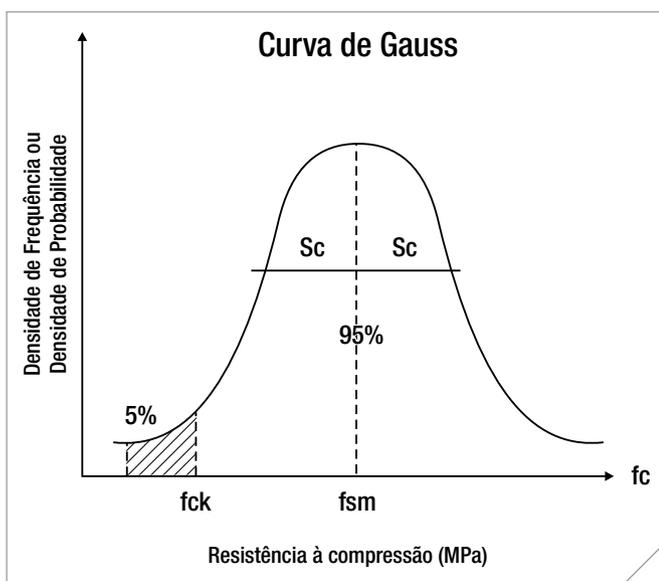
destrutivos) das betonadas de concreto correspondentes aos exemplares que apresentaram resistência à compressão inferior ao f_{ck} , foram procedidas extrações e ruptura de corpos de prova da estrutura, conforme ABNT NBR 7680. Constatamos

► **Quadro 4 – Resultado de estudo sobre porcentagens de exemplares com $f_{cj} < f_{ck}$**

Período de janeiro até 15 de junho de 2015		
f_{ck} (MPa)	Nº de corpos de prova ensaios	% de exemplares com $f_{cj} < f_{ck}$
20/25/30 35/40	59.206	1,5% a 4,0%
45	1.900	5,0%
50	1.084	6,0%

que em 70% dos casos os resultados obtidos confirmaram os resultados obtidos nos corpos de prova moldados (7 em cada 10 amostras).

A distribuição normal ou de Gauss é um modelo estatístico que representa de maneira satisfatória a distribuição das resistências à compressão do concreto (fenômeno físico e real). O valor de resistência à compressão que apresenta uma probabilidade de 5% de não ser alcançado é denominado resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}), ou seja, uma em cada vinte betonadas pode estatisticamente ser inferior ao f_{ck} , parâmetro adotado no projeto estrutural. Analisando o Quadro 4 podemos considerar que os concretos com resistência característica à compressão de 20 a 45 MPa não apresentaram desconformidades. Entretanto, com relação aos concretos com resistência



O VALOR DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO QUE APRESENTA UMA PROBABILIDADE DE 5% DE NÃO SER ALCANÇADO É DENOMINADO RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À COMPRESSÃO (F_{CK})



“

SEMPRE HÁ A PROBABILIDADE DE RECEBERMOS DE CADA 20 BETONADAS UMA COM RESULTADO INFERIOR AO FCK

”

característica à compressão de 50 MPa, ocorreu a aceitação de uma betonada com f_{cj} inferior ao f_{ck} em cada dezoito betonadas. Provavelmente, alguns fatores contribuíram para a não conformidade do concreto, tais como:

- ▶ Deficiência de controle de qualidade na produção do concreto (pesagem dos materiais constituintes, variação considerável da granulometria do agregado miúdo, teor de material pulverulento nos agregados);
- ▶ Deficiência de homogeneidade do concreto no caminhão betoneira;
- ▶ Deficiência nos ensaios dos corpos de prova (decorrente da moldagem, cura, desforma e transporte até o laboratório, ou da realização do ensaio de compressão dos corpos de prova).

Concluindo, sempre há a probabilidade de recebermos de cada 20 betonadas 01 com resultado inferior ao f_{ck} . Portanto, devemos estar sempre atentos, pois existe a probabilidade de que aquela betonada não conforme corresponda a 100% do volume de concreto aplicado nos pilares do edifício em execução ou outro elemento estrutural.

Daí a necessidade, quando da tomada de conhecimento do projeto estrutural e das especificações técnicas, de estabelecer os critérios de formação de lotes e amostragem, conforme Norma NBR 12655, e proceder a análise dos ensaios realizados.

IBRACON – QUAL É SUA AVALIAÇÃO DO PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL DO IBRACON, VOLTADO PARA QUALIFICAÇÃO DOS PROFISSIONAIS DOS LABORATÓRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO? OS LABORATÓRIOS DA FALCÃO BAUER TÊM SEUS PROFISSIONAIS CERTIFICADOS?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – Todo programa de certificação, seja de qualificação de pessoal, seja de laboratório, é importante.

Há décadas sabemos que a qualidade é obtida levando-se em consideração os seis “M’s”: material, mão de obra, medição, máquina (equipamentos), método (especificações, procedimentos), meio ambiente, e não somente um dos “M’s”.

Porém a qualidade só pode ser implantada na organização por decisão do presidente da empresa (e eventuais sócios) e com o seu total comprometimento e apoio sincero para envolver toda sua organização nessa forma de gestão.

A filosofia dos seis M’s e o total comprometimento e apoio do presidente são fatores vitais para que os laboratórios atendam aos requisitos da ABNT/ISO IEC 17025, e sejam devidamente acreditados pelo mercado,

com seus ensaios ou parte deles submetidos à avaliação e acreditados pela coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (CGCRE), e participando da RBLE (Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio), do Inmetro.

Os laboratórios da L.A. Falcão Bauer atendem aos requisitos da ABNT/ISO IEC 17025 e têm inúmeros ensaios acreditados, que constam do escopo da acreditação emitido pela CGCRE.

IBRACON – QUAIS SEUS HOBBIES?

ROBERTO JOSÉ FALCÃO BAUER – As atividades que pratico com muito prazer são dar aulas no curso de Tecnologia do Concreto para mestres de obras e encarregados, em convênio com o SENAI, em nosso laboratório, e na Universidade de Taubaté – UNITAU, no curso de engenharia civil, na cadeira de materiais de construção desde 1977. E sempre que possível, passar o fim de semana no sítio. ➤



Ensaio de penetração de água em concreto

Controle tecnológico do concreto em obras

PAULO FERNANDO A. SILVA – DIRETOR TÉCNICO-COMERCIAL

CONCREMAT ENGENHARIA
EMPRESA DO GRUPO CHINA COMMUNICATIONS CONSTRUCTION

I. INTRODUÇÃO

O presente artigo tem por finalidade detalhar a atividade de Controle Tecnológico de Materiais, seus benefícios para o empreendimento em construção (edificações, pontes, viadutos, metrô, obras de saneamento, etc.) e, por fim, apresentar casos reais de problemas ocorridos em controle de obra. Os serviços de Controle Tecnológico ao longo dos anos têm sido tratados como apenas moldagem e ruptura de corpos de prova, por total desconhecimento do meio

técnico, o que implicou uma desvalorização de uma das mais importantes atividades da construção. Essa postura tem trazido muitos prejuízos às empresas construtoras, pela necessidade de retrabalho, e aos usuários, pois, às vezes, recebem empreendimentos sem a qualidade que esperavam ou que compraram. Muitas vezes, o que tem sido observado em obra é a elaboração de bonitos gráficos de pizza e relatórios sem qualquer fundamentação teórica, aliado a um “excessivo volume de papel”, mas que não trazem qualquer me-

lhoria na qualidade da obra. É sabido da importância da equipe de produção, mas a equipe da qualidade contribui muito para o bom desempenho do empreendimento, apesar de nem sempre ser valorizada. Eu diria que a qualidade da obra depende mais do Gerente da Obra do que da empresa executante, pois é este profissional que dá as diretrizes da obra.

A norma brasileira que atualmente trata do Preparo, Controle, Recebimento e Aceitação do Concreto de Cimento Portland é a ABNT NBR 12655:2015, que substituiu a versão de 2006 desse mesmo documento e também a ABNT NBR 12654:1992 (Controle tecnológico de materiais componentes do concreto). A ABNT NBR 12655: 2015 estabelece que o Controle Tecnológico dos materiais componentes do concreto deve ser realizado de acordo com as respectivas Normas Brasileiras específicas.

Segundo a ABNT NBR 12655 o proprietário da obra e o responsável técnico por ele designado devem garantir o cumprimento desta norma, e manter a documentação que comprove a qualidade do concreto, conforme estabelecido no subitem 4.4. O profissional responsável pela execução da obra, bem como o proprietário da obra e o responsável técnico pela obra têm como uma de suas responsabilidades o recebimento e aceitação do concreto.



► **Figura 1**
Concentração de carga em uma pequena área do cp

Segundo a ABNT NBR 7212:2012 o recebimento do concreto endurecido é o ato pelo qual se constata, mediante ensaios ou outras verificações, o atendimento às especificações e às exigências do pedido (“de compra”). A avaliação do concreto fresco compreende a verificação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, ou espalhamento, em função do tipo de concreto previamente especificado no pedido (“de compra”), e a comprovação da dimensão máxima característica do agregado graúdo solicitada. Os subitens 6 e 7 da ABNT NBR 7212 tratam, respectivamente, do Controle do processo de dosagem da central e da Análise do processo. No Controle do processo é definida a amostragem a ser seguida pela empresa se serviço de concretagem, a formação de amostragem, os documentos de entrega, o que deve constar em uma carta de traço, critério de descarte de resultados espúrios e, por fim, o cálculo do desvio padrão da central (S_p). A Análise do processo, através do Desvio Padrão da Central (S_c), permite avaliar o Controle do processo e classificá-lo em níveis (Nível 1, Nível 2, Nível 3 e Nível 4). A ABNT NBR 7212 permite utilizar outros métodos de controle da qualidade, como ACI 214 (o qual o autor deste artigo utiliza) ou EN 2016-1.

Uma conceituação básica para Controle Tecnológico é a que o define como a atividade que tem por finalidade verificar se os materiais empregados na elaboração do concreto atendem as suas respectivas normas, bem como a ABNT NBR 12655. Um conceito mais amplo para Controle Tecnológico seria a análise e verificação do concreto e seus materiais constituintes, além do acompanhamento dos serviços de concretagem, recebimento, lançamento, vibração, desforma e cura do

concreto. Pela própria definição pode-se constatar que o Controle é muito mais do que simplesmente determinar a consistência (determinar o “slump”), moldar e romper corpos de prova (cp). A equipe de Controle Tecnológico tem que ter conhecimento técnico e experiência prática para realização desta atividade, como veremos adiante. Como exemplo, pode-se citar um caso de obra onde o Engenheiro do Controle Tecnológico foi substituído quatro vezes, e isto ocorreu porque foram colocados na função profissionais competentes em fiscalização de obra, mas não aptos para coordenar a equipe de Controle Tecnológico naquele momento. É comum, mesmo em grandes obras, deixar a cargo de Engenheiros Júniores o Controle Tecnológico, sem que os mesmos estejam preparados para isto, e o pior sem qualquer orientação técnica.

Há um desconhecimento por parte dos envolvidos de que os parâmetros especificados em Projeto têm que ser atendidos, segundo as normas brasileiras ou internacionais de cada material (seguindo métodos de ensaio padronizados). Esses limites somente são válidos se a metodologia de ensaio definida na norma for rigorosamente seguida. Um exemplo básico é a velocidade de ruptura dos corpos de prova, que é limitada por norma e interfere no resultado. Houve um caso bastante interessante de um pavimento de concreto, onde a Resistência à Tração na Flexão de Projeto não estava sendo obtida. O ensaio foi realizado corretamente; por isso, foi sugerido rever o traço. Antes da mudança do traço um novo ensaio em outro laboratório foi realizado, que usava uma velocidade bem superior à máxima permitida pela norma ABNT NBR 12142:2010 (a qual cita em seu



► **Figura 2**
Corpo de prova rompido em uma pequena parte

subitem 5.3 que o aumento da tensão deverá estar compreendido no intervalo de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min). Os resultados atenderam à especificação, mas, na realidade, isto ocorria por um erro no ensaio, não porque o concreto era bom. Nesse caso o traço de concreto foi corrigido.

Outro exemplo interessante é o do ensaio de Durabilidade do Agregado ao ataque por sulfato de Sódio e Magnésio (“Soundness Test: ASTM C 88”, ou DNER ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de sulfato de sódio ou de magnésio). Conforme poderá ser observado a seguir há vários fatores citados, que poderão interferir no resultado do ensaio. Os fatores que afetam a precisão deste ensaio são:

- Temperatura da solução;
- Variação da Temperatura da solução durante o ensaio;
- Idade da solução;
- Concentração da solução;
- Pureza da água usada para fazer a solução;
- Recipiente usado para imersão das amostras, etc.

No caso do ataque por sulfato, por exemplo, é importante ressaltar que a

concentração da solução de sulfato de Magnésio é maior do que a da solução de sulfato de Sódio. Logo, os limites máximos a serem atendidos são diferentes, para cada tipo de solução.

No caso da Resistência do Concreto pode-se destacar, dentre inúmeros pontos, os seguintes fatores que interferem no resultado de cada corpo de prova:

- ▶ Instante da Moldagem do cp;
- ▶ Cura inicial do cp;
- ▶ Transporte do cp;
- ▶ Temperatura da água de cura;
- ▶ Preparo do cp;
- ▶ Planicidade do cp;
- ▶ Velocidade de ruptura do cp; etc.

Os ensaios de Controle Tecnológico têm que seguir o procedimento (Método de Ensaio) que está escrito nas normas brasileiras e internacionais (se for o caso). Isto é obrigatório. Em síntese, não basta fazer os ensaios sem que se sigam os Métodos de Ensaio prescritos nas Normas Brasileiras. Para se definir um procedimento de ensaio muitos estudos são realizados e são observadas as influências de cada variável no resultado final do ensaio.

Antes do início de cada obra deve ser preparado um Plano de Controle Tecnológico, o qual será elaborado em função do tipo de obra, da classe de agressividade ambiental (CAA), prevista na ABNT

NBR 12655 e ABNT NBR 6118, da Especificação da obra e de Projeto. Este Plano deverá conter no mínimo:

- ▶ Tipos de Ensaio a serem realizados, e suas respectivas normas;
- ▶ Frequência de realização;
- ▶ Local da execução do ensaio (laboratório de obra ou externo).

Mensalmente deverá ser elaborado um Relatório Técnico conclusivo, acerca dos ensaios realizados, e se os mesmos atenderam ou não às Normas Brasileiras, e quais as medidas adotadas em caso de não conformidade. A solução das não conformidades deverá ser imediata, pois é inadmissível que, por exemplo, após 2 anos ou mais do início da obra, ainda exista não conformidade não solucionada.

2. BENEFÍCIOS DO CONTROLE CENTROLÓGICO

Dentre os diversos benefícios do Controle Tecnológico o de mais fácil compreensão é saber se os materiais constituintes do concreto atendem ou não as Normas Brasileiras, o que, por si só, já é muito importante. Isto é necessário, mas não suficiente. Como exemplo, imagine a insegurança e o custo que poderá ser acrescido ao custo inicial da obra, pelo uso de um agregado potencialmente reativo, que não foi ensaiado antes do início dos serviços de concretagem. O desgaste para a imagem do Construtor em ter que quebrar um elemento estrutural recém-construído, ou reforçá-lo é muito elevado, e tudo isto poderia ser evitado através do uso inteligente e eficaz de um Plano de Controle Tecnológico. Contudo, é importante salientar que há Especificações Técnicas de obra e Planos de Controle Tecnológico, que exigem uma quantidade excessiva e absurda de ensaios, o que pode inviabilizá-lo, ou fazer com que os mesmos caiam em descré-

dito, em particular para os Engenheiros que não têm especialização nesta área.

Um Controle Tecnológico eficaz, além de garantir o uso de materiais conformes (que atendam suas respectivas normas), pode gerar os seguintes benefícios:

- ▶ Redução do custo da obra;
- ▶ Redução do consumo de aglomerante;
- ▶ Redução do retrabalho;
- ▶ Minimização da fissuração.

Com os materiais constituintes mantendo-se uniformes e os ensaios sendo realizados corretamente o grau de dispersão é baixo, e é possível reduzir o Desvio Padrão de Dosagem, e, para uma mesma resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), reduzir o consumo de cimento necessário, para atendê-lo. Uma redução no consumo de cimento, para grandes blocos de fundação, lajes espessas e pilares robustos, implica em redução do Gradiente Térmico, e do risco de fissuração por origem térmica, ou por formação de Etringita Retardada (“*Delayed Ettringite Formation*”).

A fissuração de origem hidráulica é função, principalmente, do consumo de água. Logo, mantendo-se a mesma relação água/cimento e reduzindo o consumo de cimento, temos redução do consumo de água. Logo, menor será a tensão de tração induzida pela retração e menor risco de fissuração.

O retrabalho também é reduzido. Um exemplo claro de retrabalho é quando se usa um agregado reativo em ambiente de elevada umidade relativa (superior a 85%), o que certamente leva ao aparecimento de patologia. Caso o ensaio seja realizado somente após a confecção do elemento estrutural, e este seja de pequena dimensão a sua demolição é uma hipótese bastante provável, como ocorreu recentemente em uma obra no Centro-Oeste do Brasil.



▶ **Figura 3**
Discos de desbaste: cinza (bom) e vermelho (ruim)

Através dos ensaios de Controle Tecnológico pode-se comparar e escolher materiais de melhor qualidade, os quais reduzirão os custos globais da obra.

No caso de obras prediais o Controle Tecnológico deverá ser contratado pela empresa responsável pela Construção. Já nas demais obras, tais como METRÔ, ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO, PISCINÕES, RODOVIAS, FERROVIAS, PORTOS, etc, o contratante deverá ser o PROPRIETÁRIO da mesma. A empresa construtora poderá realizar o seu Controle Tecnológico, mas isto não elimina e nem minimiza o Controle do Proprietário da obra. Os laboratórios de ensaio, obrigatoriamente, deverão ser acreditados pelo INMETRO. Isto é o mínimo a ser exigido, pois o que tem sido observado em obra é que há laboratório de ensaio, mas sem que se siga rigorosamente os métodos de ensaio definidos em norma. Por exemplo, se uma norma define uma faixa de temperatura de cura do corpo de prova é obrigatório que se cumpra, a fim de que os resultados de ensaio tenham validade.

Enfim, o Controle Tecnológico, aliado a um bom Projeto e uma boa Execução podem gerar vários benefícios à sociedade, com uma redução de custo para o construtor e a entrega de uma obra durável, com o mínimo de manutenção.

3. CASOS REAIS

A fim de ilustrar a importância do Controle Tecnológico serão apresentados alguns casos reais de obra no Brasil.

3.1. CASO I: Cura e preparo das bases do cp

O concreto não atendia ao f_{ck} . Logo, a Construtora aumentou o consumo de cimento e mesmo assim nem sempre

a resistência de Projeto era atendida.

Análise e solução: Foi observado que a Temperatura da Água de Cura do cp não atendia ao especificado na ABNT NBR 5738:2015 (Temperatura compreendida entre 21 e 25° C), e o preparo da superfície das bases do concreto não deixava a mesma paralela a outra superfície. Segundo a ABNT NBR 5738:2015 antes de ensaiar os cp é imprescindível preparar suas faces, de modo que se tornem superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do cp. Esta preparação pode ser feita por retificação ou capeamento. Logo, quando da ruptura do cp havia concentração de carga em determinada área (foto 1 e 2), o que reduzia o valor da resistência do concreto na idade considerada (f_{cj}). Após a correção desses dois problemas, a resistência, f_{cj} , aumentou e muito, às vezes resultando no dobro do f_{ck} , e foi possível reduzir os consumos de cimento, em função do traço, de 40 kg / m³ e 100 kg / m³. Cumpre ressaltar que a ABNT NBR 5738:2015 permite, para a temperatura do ar da câmara úmida ou da água do tanque de cura, mais três intervalos, além do já citado anteriormente, os quais são 21+ - 2°C, 25+ - 2°C, e 27+ - 2°C, o que o autor deste artigo não concorda, devido aos valores de Maturidade serem diferentes, para um mesmo concreto e mesma idade, e por consequência diferentes resistências à compressão axial serão obtidas.

3.2 CASO 2: Retificação do cp

A f_{c28} de um mesmo concreto entregue em uma dada obra não atendia ao f_{ck} , pelos ensaios de um Laboratório de Ensaio, mas, pelos ensaios de outro Laboratório, atendia. Logo, foi solicitada à empresa de serviços de concretagem,



► **Figura 4**
Retificadora que gerou melhor planicidade

até que a causa fosse descoberta, que fosse revisto o traço, o que implicou em aumento do consumo de cimento.

Análise e solução: Foram moldadas diversas séries de corpos de prova, pelo mesmo moldador, os quais foram curados à Temperatura especificada na ABNT NBR 5738 (Temperatura de cura compreendida entre 21 e 25 °C), preparados e rompidos em diversas idades em uma única prensa. A única diferença entre as séries de cps foram as retificadoras (fotos 3 e 4). A ABNT NBR 5738 cita que a preparação pode ser feita por retificação ou por capeamento. Os resultados obtidos de resistência foram analisados estatisticamente, e empregou-se o teste estatístico t, e se obteve uma diferença de 24% entre os valores de f_{cj} , em função do disco utilizado. Em função disso, os discos abrasivos foram trocados e não houve mais problemas.

3.3 CASO 3: Amostra para moldagem

É muito comum a coleta de amostra para moldagem logo no início da descarga, principalmente para concretos fluidos (aqueles com abatimento superior a 190mm). O concreto entregue em uma dada obra não atendia ao f_{ck} . O valor do f_{c28} em média era de 22,0 MPa e o $f_{ck} = 30$ MPa.

Análise e solução: Foi solicitado ao Laboratório que a amostragem fosse realizada de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 5738, a qual determina que devem ser seguidas as exigências da ABNT NBR NM 33:1998. Esta norma cita que a coleta de amostras deve ser realizada durante a operação de descarga, após a retirada dos primeiros 15% e antes de completar a descarga de 85% do volume total da betonada. Após a correta amostragem do concreto, o f_{c28} superou 38 MPa.

3.4 CASO 4: Agregado graúdo contendo sulfato

O agregado graúdo (brita) empregado na confecção do concreto continha sulfatos, mas este fato não foi detec-

tado quando da análise dos materiais. Após a execução do concreto foram observadas manchas brancas, similares ao processo de lixiviação da cal hidratada do concreto, mas não havia fluxo de água.

Análise e solução: Foram extraídos testemunhos da estrutura e realizado o ensaio de Difração de Raio X. Detectou-se a presença de Thenardita (Na_2SO_4), como composto mais presente (Quadro 1 – Compostos Mineralógicos). A obra ficou em observação, em função do risco de um ataque por sulfato.

3.5 CASO 5: Agregado graúdo reativo

O agregado graúdo (brita) empregado na confecção do concreto de alguns blocos de uma obra de arte especial era reativo. Essas britas foram usadas porque o ensaio de expansão devido à possível reação dos álcalis do cimento com o agregado não foi realizado (ABNT NBR 15577:2008).

Análise e solução: Foram realizados ensaios, conforme estabelece a ABNT NBR 15577, e se confirmou que os agregados eram reativos. Então, como os blocos eram pequenos, foi decidido por sua demolição.

3.6 CASO 6: Uso de Neoprene

Tem sido comum o uso de Neoprene na ruptura de cp, ao invés dos processos normalizados de retificação e capeamento das bases. Também têm sido observadas rupturas com Fratura no topo do cp, tipo F (figura A.6) e tipo G (figura A.7) do Anexo A (Tipos de Ruptura de cp) da ABNT NBR 5739:2007. Em vários casos, o f_{ck} não tem sido obtido, não pela qualidade do concreto, mas sim pelo erro de ensaio.

O uso de Neoprene para preparação das bases de cp não está normalizado no Brasil. A ABNT NBR 5738:2015 cita em seu subitem 9.3.2.4 que outros processos de preparo podem ser adotados, desde que estes sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística, com resultados obtidos de cp retificados por processo tradicional, e os resultados obtidos apresentem-se compatíveis.

A ASTM C 1231/C 1231 M-00 define na tabela 1 as exigências que as “bolachas” ou discos de Neoprene deverão atender. Por exemplo, para Resistência à Compressão Axial compreendida entre 28MPa e 50 MPa, o número máximo de reuso do disco de Neoprene é de 100 vezes (desde que ele não esteja fissurado, desgastado, etc), e a sua Dureza Shore A seja igual a 70 (com tolerância de + - 5). A espessura do disco deverá estar compreendida entre 11mm e 15mm.

Análise e solução: Foram verificadas as espessuras, dureza Shore A, e número de reuso dos discos de Neoprene. A espessura variava muito de um lote, para o outro, ou até mesmo dentro de um mesmo lote. O número de reuso sempre superava 100 vezes, além da presença de

► Quadro 1 – Compostos mineralógicos

Minerais	Quimismo aproximado	Frequência relativa	
		65523	65525
Quartzo	SiO_2	*	***
Feldispato	$(K,Na)[AlSi_3O_8] - CaAl_2Si_2O_8$	nd	tr
Calcita	$CaCO_3$	tr	*
Thenardita	Na_2SO_4	****	***
Gipsita	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	tr	tr

Simbologia: nd = não detectado; tr = traços; * = presente; ** = pouco frequente; *** = frequente; **** muito frequente.

Nota: a avaliação semiquantitativa (expressa em número de asteriscos) das fases está fundamentada na latura dos picos de difração, cuja intensidade é função do teor, da simetria e do grau de cristalinidade do constituinte.



fissuras e do desgaste do mesmo. A dureza Shore A não era atendida. A solução foi pelo impedimento do uso de Neoprene.

4. RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÃO

Os ensaios dos materiais e do concreto devem seguir o recomendado em norma, mas vale a pena destacar alguns ensaios importantíssimos de serem realizados, e que são os seguintes:

- ▶ Estudo de Dosagem Racional;
- ▶ Exsudação;
- ▶ Teor de Ar aprisionado;
- ▶ Reatividade dos agregados com os álcalis do cimento (RAA);
- ▶ Teor de sulfatos e cloretos dos agregados;
- ▶ Módulo de Elasticidade;

- ▶ Teor de material pulverulento;
- ▶ Retração do Concreto (principalmente no caso de pavimento);
- ▶ Avaliação do Produto de Cura.

Outros ensaios deverão ser especificados, e são muitos, mas dependem do tipo de obra. Por exemplo, no caso de túneis é muito importante o ensaio de aderência entre o concreto e a rocha. No caso de obras hidráulicas, o ensaio de absorção de água por imersão e fervura, etc.

Em função do exposto nos itens 1, 2 e 3, pode-se concluir que um Controle Tecnológico bem executado traz benefícios aos executores e proprietários da obra, tanto em qualidade quanto em redução de prazo e custo.

O custo dos serviços de Controle Tecnológico bem realizado é muito baixo em relação ao custo total do empreendimento.

E, por fim, é importante ressaltar que a Empresa de Controle Tecnológico tem que, no mínimo, ser acreditada pelo INMETRO (condição necessária, mas não suficiente), com profissionais treinados constantemente e com a coordenação de Engenheiros especializados na área de ensaios. No caso de obras prediais o Controle Tecnológico deverá ser contratado pela empresa responsável pela Construção da obra. Já, nas demais obras, como METRÔ, ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO, PISCINÕES, RODOVIAS, FERROVIAS, PORTOS etc., o contratante deverá ser o PROPRIETÁRIO da mesma. A empresa construtora poderá realizar o seu Controle Tecnológico, mas isto não elimina e nem minimiza o Controle do Proprietário da obra. 📌

DURABILIDADE DO CONCRETO

Durabilidade do Concreto

Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente



Ed. JEAN-PIERRE OLLIVIER e ANGÉLIQUE VICHOT

Editores da tradução: Oswaldo CASCUDO e Helena CARASEK

→ Editores	Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot
→ Editora francesa	Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées – França
→ Coordenadores da edição em português	Oswaldo Cascudo e Helena Carasek (UFG)
→ Editora brasileira	IBRACON

Esforço conjunto de 30 autores franceses, coordenados pelos professores Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot, o livro "Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente" condensa um vasto conteúdo que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de parte importante de membros da comunidade científica europeia que trabalha com o tema da durabilidade do concreto. A edição brasileira da obra foi enriquecida com o trabalho de tradução para a língua portuguesa e sua adaptação à realidade técnica e profissional nacional.

→ Informações: www.ibracon.org.br

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-22-0

Edição: 1ª edição

Formato: 18,6 x 23,3cm

Páginas: 615

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2014



FHECOR
DO BRASIL
Engenharia



TIP – um novo método para verificação de integridade de fundações de concreto

JORGE W. BEIM – ENGENHEIRO CONSULTOR

GEORGE PISCSALKO, PE – VICE-PRESIDENTE

PILE DYNAMICS, INC.

INTRODUÇÃO

A Perfilagem Térmica de Integridade, conhecida pela sigla de seu nome em inglês – TIP (*Thermal Integrity Profiler* – Mullins, 2010), usa a temperatura gerada pela cura do cimento (energia de hidratação) para avaliar a qualidade de fundações de concreto moldadas *in loco* (estacas escavadas, hélice contínua ou raiz). Enquanto

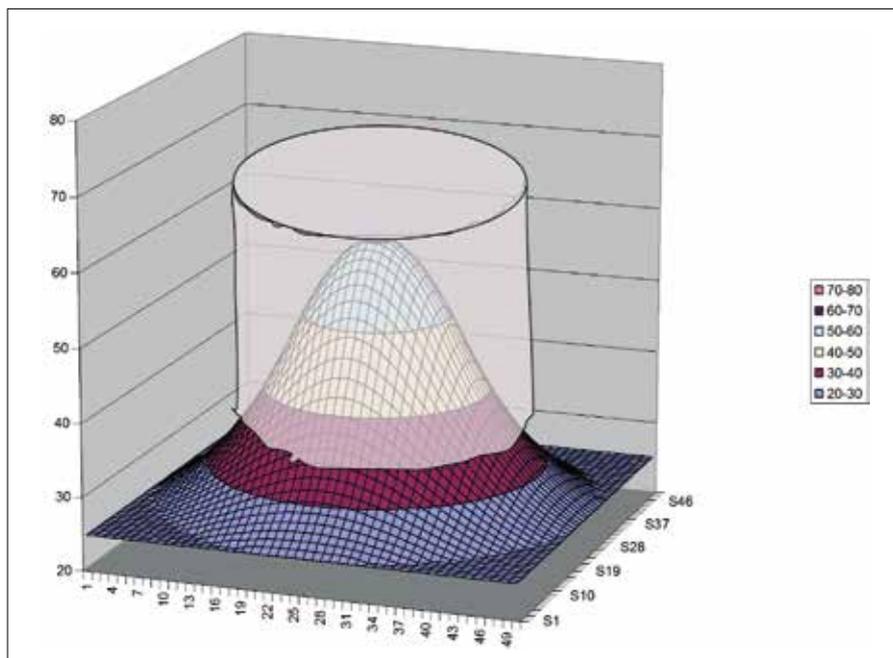
outros métodos tradicionais de ensaio de integridade de estacas têm limites na avaliação de toda a seção transversal ou comprimento (por exemplo, o *cross-hole* só é capaz de avaliar a parte interna da armadura, o PIT tem limitações de comprimento, etc.), as medições do TIP avaliam a qualidade de todas as porções da seção transversal ao longo de todo o comprimento.

Em geral, durante a cura, a falta de concreto competente (ex. estreitamentos, inclusões ou baixo conteúdo de cimento) é registrada por regiões relativamente frias. Já a presença de concreto extra (ex. alargamentos por excesso de derramamento de concreto em camadas de solo mole) é registrada por regiões relativamente quentes.

Portanto, anomalias tanto dentro como fora da armadura de reforço perturbam o registro de temperatura na região da anomalia, com efeito progressivamente menor com o aumento da distância.

A temperatura do fuste depende do diâmetro do elemento de fundação, do traço do concreto e do tempo decorrido entre a concretagem e a medição.

Como a distribuição de temperatura em relação à distância do centro do fuste é em forma de sino, como mostra a Figura 1, as medições de temperatura são sensíveis à excentricidade da armadura, assim como ao seu recobrimento. Uma armadura ligeiramente mais perto do solo em um lado da escavação exibe temperaturas mais baixas que a média, ao passo que uma armadura mais



► **Figura 1**
Distribuição de temperatura em uma seção da estaca

próxima do centro da estaca exibe temperaturas mais altas que a média (ver Figura 2).

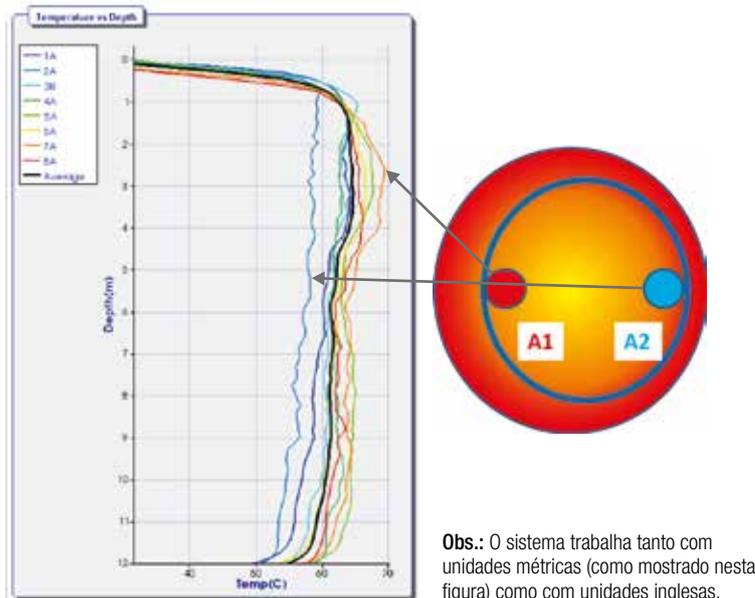
Como a relação entre diâmetro da estaca e temperatura é bastante linear na região próxima à armadura, um gráfico da temperatura média de todos os locais de medição em relação à profundidade reproduz a forma real do fuste, comparável, por exemplo, com a determinada a partir de diagramas de concretagem de campo (ver Figura 3). Os diagramas de construção e concretagem podem ser usados juntamente com os dados do TIP para melhor avaliar a qualidade global e o raio efetivo do fuste em qualquer ponto ao longo de todo seu comprimento.

AQUISIÇÃO DOS DADOS

Nos EUA, o ensaio encontra-se normatizado por meio da norma ASTM D7949-14, “Standard Test Methods for Thermal Integrity Profiling of Concrete Deep Foundations”, que estabelece os procedimentos para medir o perfil de temperatura no interior de elementos de fundação profunda moldados *in loco*, tais como, estacas escavadas, hélice contínua, estacas escavadas de deslocamento (estacas ômega ou “screw piles”), microestacas e colunas de “jet grout”.

Os dados do TIP podem ser obtidos através de cabos térmicos (Thermal Wire® – Cotton et.al., 2010) ou através de sondas térmicas que se deslocam no interior de tubos de aço ou PVC (Mullins, Kranc, 2004). A instalação, tanto dos cabos térmicos como dos tubos, tem que ser feita previamente à concretagem.

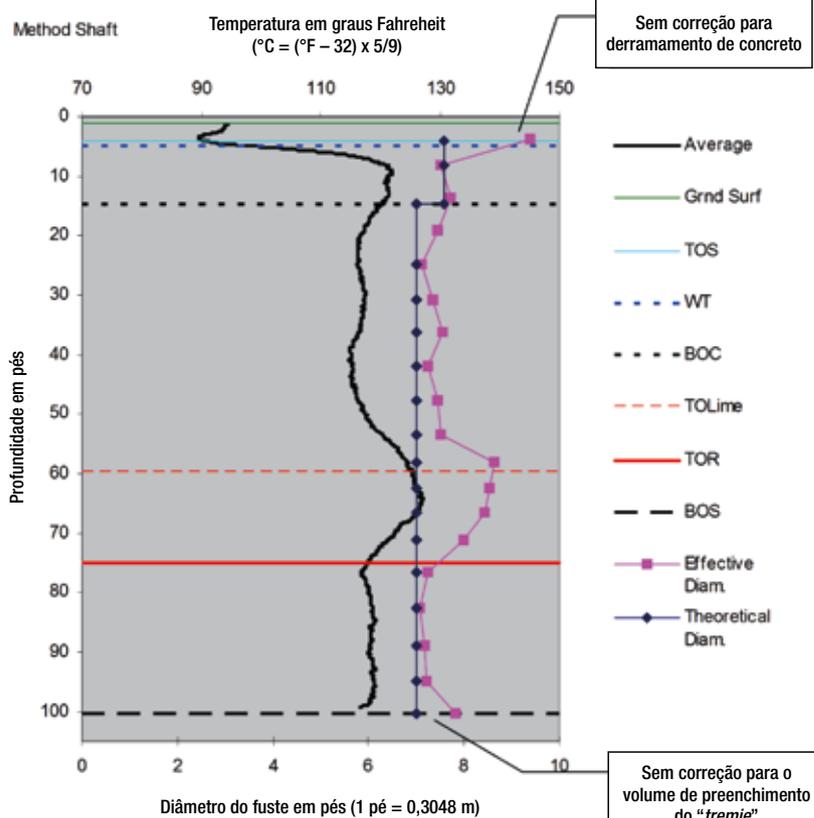
Os cabos com sensores térmicos são presos à armadura de reforço.



► **Figura 2**

Diagrama de temperatura vs. profundidade para uma estaca com a armadura deslocada para a direita.

Depth = Profundidade; Average = Média das temperaturas



► **Figura 3**

Comparação entre as temperaturas ao longo do fuste (linha preta), com os diâmetros efetivos calculados a partir da altura de subida do concreto para cada caminhão (linha rosa).

Recomenda-se que seja usado um cabo térmico para cada 300 mm de diâmetro da fundação. Sugere-se o uso de um número par de cabos para

simplificar a análise, exceto em esta- cas hélice contínua ou raiz, nas quais usa-se um único cabo térmico preso a uma barra de reforço central.

Os dados dos cabos térmicos são automaticamente amostrados, tipicamente a cada 15 minutos para cada um dos cabos, através de uma unidade de aquisição alimentada por baterias, permitindo, assim, que a temperatura seja monitorada durante toda a duração do processo de cura. Os dados podem ser recuperados em campo a qualquer tempo após a concretagem, para avaliação.

A Figura 4 mostra uma sonda tér- mica, inserida em tubo metálico preso à parte interior da armadura, seme- lhante ao usado em ensaios *Cross- hole* (consulte artigo na edição 85). Diferentemente deste último, porém, no caso do uso de sondas térmicas com o TIP, os tubos devem estar se- cos e não é necessário um perfeito contato entre os tubos e o concreto.

A recomendação quanto ao nú- mero de tubos a usar é a mesma que para os cabos térmicos. No caso da sonda térmica, o ensaio tem que ser feito dentro de um determinado in- tervalo de tempo após a concreta- gem e consiste em baixar lentamente a sonda no interior de cada tubo, en- quanto a unidade eletrônica registra as profundidades e as temperaturas.

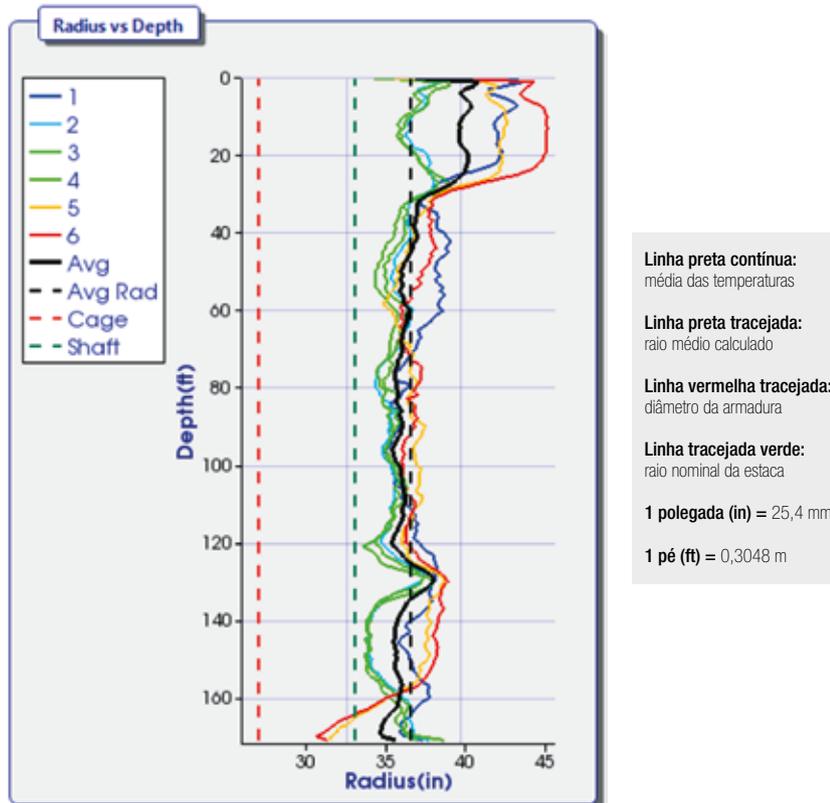
ANÁLISE DOS DADOS

Se nenhuma região local relati- vamente fria for detectada durante o ensaio, significa que o fuste não tem defeitos localizados e nenhuma análise adicional é necessária para aprovação do elemento de fundação, acelerando, assim, o restante do pro- cesso de construção.

Na grande maioria dos casos as medições de campo por si só são suficientes para detectar irregulari- dades flagrantes, já que o perfil de temperatura média mostra a forma



► **Figura 4**
Sonda térmica (à esquerda) e seu uso no interior de tubo de aço



► **Figura 5**
Gráfico mostrando o raio (em polegadas) versus profundidade (em pés), estimado a partir das medições de temperatura - obra de ponte na autoestrada I-90 em Cleveland, Ohio

geral do fuste. Esse nível de investigação revela irregularidades no alinhamento da armadura, localização da camisa, localização de alargamentos, regiões com conteúdo deficiente de cimento (concreto fraco) ou estreitamento, e pode facilmente alertar o usuário ou proprietário sobre áreas de preocupação.

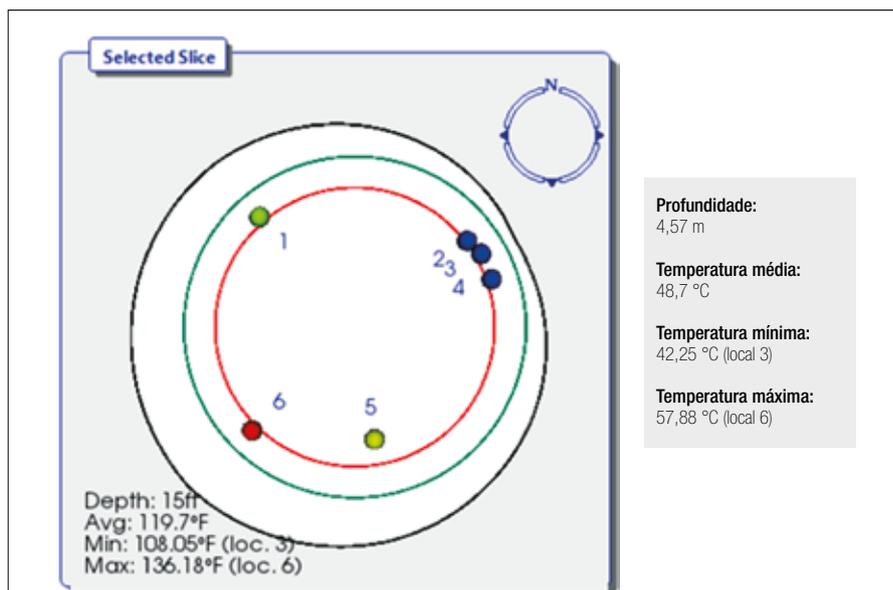
O raio em qualquer local ao longo do fuste pode ser estimado, comparando-se a temperatura média (usualmente perto do instante de temperatura máxima) com o raio médio computado a partir do volume total de concreto instalado e comprimento total da estaca. O exemplo mostrado na Figura 5 corresponde a uma estaca de 1,68 m de diâmetro e cerca de 50 m (165 pés na figura) de comprimento total, com camisa de aço nos 8,53 m superiores (28 pés na figura). O gráfico do raio versus profundidade mostra que a camisa de aço está deslocada em relação ao alinhamento da estaca, porém mostra também que o raio efetivo excede o raio nominal (mostrado pela linha vertical verde tracejada – “Shaft”), o que garante recobrimento adequado da armadura ao longo de todo o fuste.

É possível gerar tanto avaliações 3-D como 2-D (“fatias” a qualquer profundidade), como mostrado na Figura 6 e Figura 7.

No caso mostrado na Figura 8, foram deixados defeitos representando aproximadamente 5% da seção transversal do fuste, nas profundidades de aproximadamente 6 e 14 m (20 e 46 pés na figura), perto do cabo térmico número 6. Uma inspeção da temperatura inicial versus tempo claramente revela esses defeitos (setas vermelhas). A seta azul mostra uma seção da armadura de reforço que não está bem centralizada; alguns

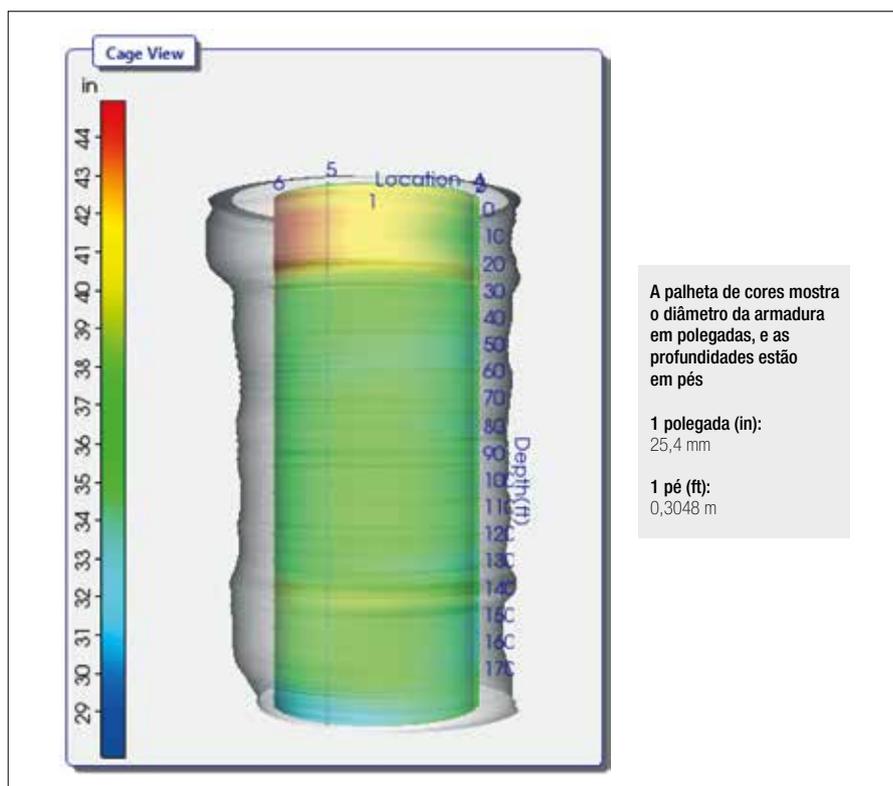
cabos térmicos que estão mais próximos do centro da estaca mostram

temperaturas mais altas do que os cabos opostos, que estão localizados



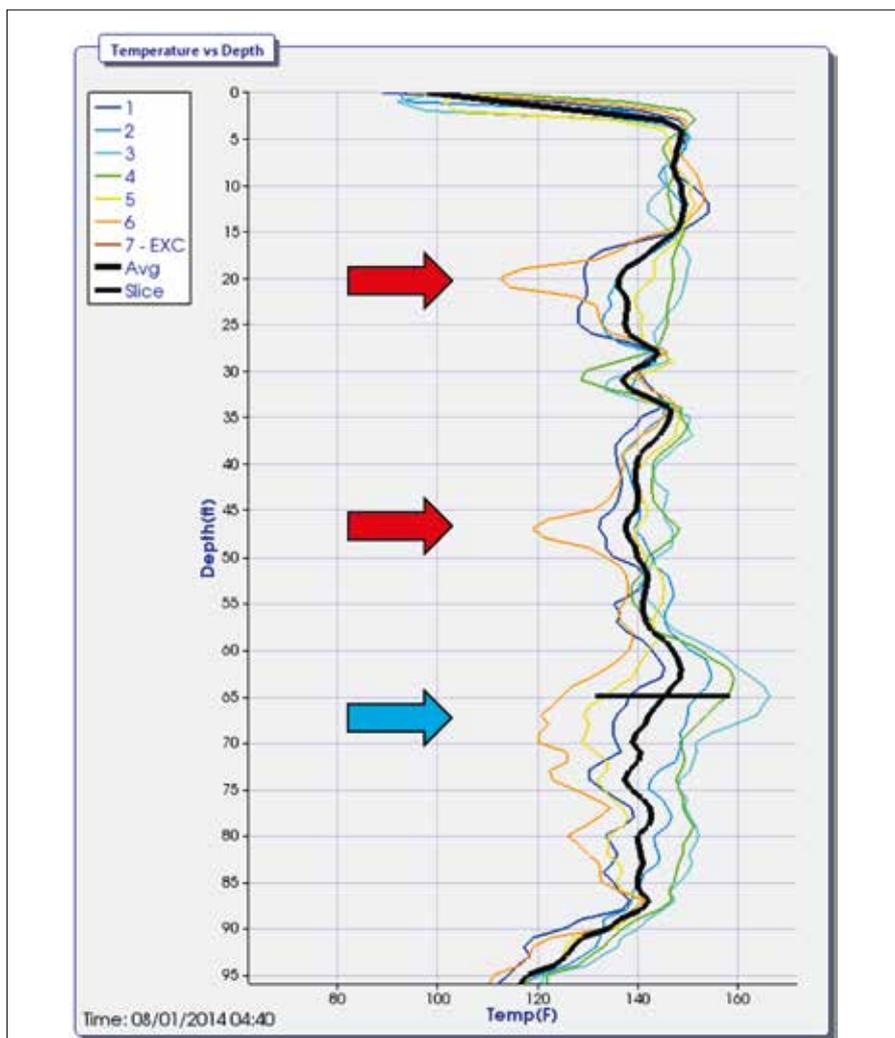
► **Figura 6**

Fatia 2-D de seção na parte superior com camisa de 2,13 m de diâmetro, mostrando deslocamento da camisa



► **Figura 7**

Representação 3-D da estaca de 1,68 m de diâmetro com camisa de 2,13 m até 8,53 m – ponte na autoestrada I-90, Cleveland, Ohio



► Figura 8

Gráfico de Temperatura (em °Fahrenheit) vs. Profundidade (Depth – em pés) de um fuste com defeitos deixados de propósito (setas vermelhas) e armadura descentralizada (seta azul). A linha preta é a média das temperaturas dos cabos térmicos individuais

mais próximos da interface estaca-solo, e apresentam temperaturas mais baixas que a média. A temperatura perto do topo e da ponta mostra a redução (chamada “roll-off”) normal

devido ao calor irradiando também do topo e da ponta da estaca. O “roll-off” em estacas uniformes segue uma curva de tangente hiperbólica, que o programa de processamento dos da-

dos do TIP é capaz de prever. O “roll-off” de temperatura na parte inferior neste caso foi alongado em relação à curva teórica, devido à inclusão de um macaco bidirecional na ponta.

CONCLUSÕES

O TIP avalia a integridade de estacas de concreto moldadas *in loco*, a partir da medição da temperatura de cura do concreto ao longo do fuste. O método já é rotineiramente usado em estacas escavadas e hélice contínua, e também já foi utilizado em estacas raiz.

Ao contrário do ensaio de integridade de baixa deformação (PIT), o TIP não é afetado por formatos não uniformes, consegue detectar danos perto do topo e da ponta da estaca, e não tem limitação de comprimento.

Ao contrário do ensaio *Cross-hole* (CSL), o TIP é capaz de avaliar a totalidade da área de seção, e não só a parte interior da armadura. Além disso, o TIP consegue detectar excentricidade da armadura e medir o recobrimento de concreto, o que nenhum outro método é capaz.

O ensaio TIP pode ser feito através de cabo térmico ou de sonda térmica. Em ambos os casos, o ensaio é completado e consegue fornecer dados preliminares entre 8 e 24 horas após a concretagem.

O ensaio TIP exige a instalação de tubos ou cabos térmicos antes da concretagem, ou seja, exige planejamento prévio. 🏠

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Mullins, A. G., (2010), “Thermal Integrity Profiling of Drilled Shafts”, DFI Journal Vol 4, No.2, dezembro.
- [02] Mullins, A. G. and Kranc, S. C., (2004), “Method for Testing the Integrity of Concrete Shafts,” (Método para ensaio de integridade em fustes de concreto), Patente norte-americana 6.783.273.
- [03] Cotton, D., Ference, M., Pisciak, G., and Rausche, F., (2010) “Pile Sensing Device and Method of Making and Using the Same” (Dispositivo de detecção de estacas e método de fabricação e uso do mesmo), Patente norte-americana 8.382.369.



Poli-USP cria Centro de Inovação em Construção Sustentável

 Centro de Inovação em Construção Sustentável (CICS) é uma iniciativa pioneira do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), que tem o objetivo de congrega grupos de pesquisadores, representantes da sociedade e agentes da cadeia produtiva da construção civil em torno da temática “tecnologia, inovação e sustentabilidade”.

DIVULGAÇÃO | AFLALO GASPERINI ARQUITETOS



CICS - Centro de Inovação em Construção Sustentável

Segundo a arquiteta e urbanista Diana Csillag, coordenadora do projeto, “o CICS é uma rede de integração entre academia, empresas e sociedade, concebida tal como um grande projeto de pesquisa que visa acelerar a inovação no setor de construção civil”. Essa rede nasce para estimular a interlocução qualificada entre as partes envolvidas, reunindo progressivamente parceiros comprometidos com a realização de experimentos, o desenvolvimento e a validação de novas tecnologias construtivas.

Ao valorizar a perspectiva multidisciplinar e sistêmica para a compreensão dos desafios, de suas possíveis soluções e da complexidade no desenvolvimento e uso atual das tecnologias, o

CICS pretende atrair talentos e apoiar novas ideias, seja de pesquisadores de universidades, seja de empreendedores de empresas privadas. Sua Comissão Coordenadora, composta pelos professores do Departamento de Construção Civil da Poli-USP, Francisco Cardoso, Orestes Gonçalves, Vahan Agopyan e Vanderley John, está aberta para analisar propostas de adesão e deverá fazer convites. Como esse grupo opera uma unidade Embrapii – Poli-USP Materiais para Construção Ecoeficientes – existe a facilidade de acesso a recursos para projetos inovadores em parceria com empresas, como os recursos disponibilizados pela Fapesp, por meio dos pro-

gramas PITE e PIPE, e pelo SEBRAE. “Pretendemos ser um *hub* de pesquisa básica e inovação”, esclarece Csillag.

LIVING LAB

O primeiro projeto que está sendo realizado pelo CICS é a construção de um “*living lab*” – laboratório vivo – que irá abrigar a sede da rede. Localizada no campus da USP no Butantã, em São Paulo, com arquitetura do escritório Aflalo/Gasperini Arquitetos e Vivá Arquitetura, projeto estrutural da Leonardí Construção Industrializada (Eng. Marcelo Cuadrado Marin) e apoio da Fundação para Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), a nova edificação

irá receber grupos de profissionais, empresas e pesquisadores envolvidos com trabalhos de experimentação e inovação tecnológica. Suas estruturas e espaços estão sendo projetados para permitir flexibilidade, mudanças e substituições de sistemas, soluções e materiais. Fachadas, coberturas, revestimentos, iluminação, entre outros componentes e elementos construtivos, estarão em constante mutação e serão testados e monitorados sistematicamente, conferindo ao edifício a condição de ser em si mesmo o objeto da pesquisa.

“O edifício, suas fachadas, instalações hidráulicas, iluminação, vidros, sistemas de geração de energia, condicionamento ambiental etc. poderão ser reconfigurados a qualquer momento para testar novas soluções. Por isso, ele será monitorado de forma contínua e detalhada”, explica o professor integrante da Comissão Coordenadora do Projeto CICS, Vanderley John.

A edificação está atualmente em fase de sua aprovação junto aos órgãos da USP e de desenvolvimento de seu projeto executivo. Orçada em 9,5 milhões de reais, a previsão é que a obra seja iniciada no segundo semestre deste ano e finalizada em 2019.

A expectativa é que seja financiada quase totalmente por meio de adesões de empresas e cidadãos. A Superintendência jurídica da USP criou recentemente um modelo para a viabilização de parcerias com empresas, que podem ser feitas por meio de doações de materiais e equipamentos, doações de serviços e doações de recursos.

No ano passado, o CICS realizou cinco workshops temáticos, dos quais participaram 52 empresas, com o objetivo de apresentar as oportunidades de participação na rede e de levantar informações para subsidiar o projeto de sua

sede. Foram exploradas soluções para temas como água e esgoto, construtibilidade, domótica, energia e envelope para edifício, entre outras.

Entre as empresas que já aderiram ao projeto estão: a Intercement, a Leonardi, a Tecnum Construtora, a Tarjab Construtora, a Infibra, a Tigre Ferramentas para Pintura, a Infometer, a Trox, a Somfy, a ICZ – Instituto de Metais não Ferrosos, a PAM Saint Gobain, a Matec Engenharia, a Bettoni, a Dow Brasil, a Caleffi Hydro-nic Solutions e a Parks Comunicações Digitais. Em breve serão anunciadas as empresas que estão ainda em processo de formalização das parcerias.

Os critérios para a seleção de empresas participantes no projeto do edifício do CICS incluem: impacto ambiental, conforto para o usuário, inovação e escalabilidade. Devido à natureza do edifício, está sendo assumido um risco tecnológico maior do que o da construção convencional. John exemplifica que as fachadas devem ser de estruturas leves, com materiais inovadores de baixo impacto e vidros autolimpantes de alta eficiência. A edificação deverá operar com, pelo menos, três fontes alternativas de energia – solar fotovoltaica, solar (água quente) e geotérmica. “Esperamos também contar com hidrogênio, pois estamos trabalhando com o *Research Centre for Gas Innovation*, com o objetivo de viabilizar a captação de recursos para integrar uma célula a combustível”, adiciona John.

Os concretos a serem usados na estrutura do edifício foram desenvolvidos pelo Laboratório de Microestrutura e Ecoeficiência de Materiais da Poli-USP, em conjunto com a Intercement. Segundo John, a tecnologia desenvolvida vai permitir uma significativa redução da pegada ambiental do concreto, obtida pela acentuada redução do consumo de ligantes, resultado de técnicas de empa-

cotamento granular, baixo consumo de água e substituição de cimento por fileres selecionados. “Estamos discutindo consumos possivelmente abaixo de 150kg/m³ de ligantes para concretos de 50Mpa. É uma tecnologia com potencial para reduzir em, pelo menos, 30% as emissões de CO₂ dos materiais cimentícios a serem usados no edifício”, informa John. Este balanço na redução da pegada ambiental vem tanto por parte da produção dos materiais empregados na construção quanto por parte do uso da edificação. Foi realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida simplificado para os três projetos executivos analisados, considerando o uso do concreto convencional e o uso do concreto com baixo consumo de ligante. De acordo com John, o concreto desenvolvido pelo grupo de pesquisa carbonata rapidamente, absorvendo o CO₂ da atmosfera, contribuindo, assim, para reduzir a pegada ambiental do edifício.

Com o edifício em uso, testando soluções construtivas inovadoras, num ambiente bastante controlado, a expectativa dos coordenadores do CICS é que as tecnologias comprovadamente validadas tenham facilitado seu acesso ao mercado. “Temos a expectativa que um teste no CICS poderá ser utilizado no processo de validação da tecnologia junto ao SINAT, que, no futuro, poderá ampliar seu escopo para além dos edifícios de programas habitacionais”, avalia John. Além disso, o edifício-sede do CICS vai ser usado para abrigar laboratórios diversos segundo a natureza das pesquisas a serem realizadas, como o Laboratório de Microestrutura e Ecoeficiência de Materiais (LME) e o Laboratório de Sistemas Prediais (LSP), gerando conhecimento, pesquisas e prestação de serviços, bem como capacitando recursos humanos e servindo de local de visitação para alunos das universidades e escolas. 



ABNT NBR 9062:2017

Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado

MARCELO CUADRADO MARIN

DIRETOR DE ENGENHARIA DA LEONARDI CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA
DIRETOR TÉCNICO DA ABCIC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO)
SECRETÁRIO DA COMISSÃO DE ESTUDOS DE REVISÃO DA ABNT NBR 9062

I. INTRODUÇÃO

A edição revisada da ABNT NBR 9062 Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado foi publicada no dia 17 de março de 2017, no âmbito do ABNT/CB-02 (Comitê Brasileiro da Construção Civil da Associação Brasileira de Normas Técnicas), passando a substituir a versão anterior, que havia sido publicada em 2006.

Os trabalhos foram iniciados no dia 21 de novembro de 2012, tendo como coordenador o engenheiro Carlos Eduardo Emrich Melo, e encerrados no dia 25 de fevereiro de 2015, totalizando 25 reuniões. O texto base foi disponibilizado para consulta nacional pela ABNT no dia 12 de abril de 2016 e recebeu votos até o dia 12 de junho de 2016. Após a consulta nacional foram realizadas duas reuniões para análise dos votos, nos dias 29 de agosto e 14 de setembro de 2016.

A composição da comissão de estudos atendeu as premissas da

ABNT, garantindo a representatividade da indústria, da academia, dos consumidores e dos fornecedores, incluindo as empresas, os projetistas de estruturas e consultores, totalizando 79 profissionais. Destacam-se as participações e apoio da ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto), da ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), do IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto), da EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo) e do NETPre/UFSCar (Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto da Universidade Federal de São Carlos).

A revisão da ABNT NBR 9062 foi bastante extensa. Além do acréscimo de conteúdo em muitos itens já abordados, foram introduzidos novos itens. O processo de revisão de uma norma exige a releitura de todo o texto já existente e a análise de sua aderência à realidade do mercado nos dias atuais, bem como

às melhores práticas e ao estado da arte em relação aos assuntos a serem abordados.

A tecnologia dos produtos e processos de um sistema construtivo se desenvolvem ao longo do tempo e as normas técnicas que estabelecem os respectivos requisitos devem acompanhar essa evolução. Avaliando o histórico da ABNT NBR 9062, através da expansão e aprofundamento de seu conteúdo, é nítida sua evolução ao longo do tempo. Na versão publicada em 1985, o texto apresentava 36 páginas; já na versão de 2006 constavam 59 páginas e, na versão de 2017, o conteúdo foi distribuído em 86 páginas. Além dos temas terem sido abordados com mais profundidade e didática, novos itens foram acrescentados em conformidade com a evolução tecnológica do sistema construtivo, bem como a ampliação da utilização deste sistema construtivo nos últimos anos, nos mais diversos segmentos em edificação e infraestrutura. As formas de dimensionamento, produção, controle

de qualidade e execução da montagem passaram a ser abordados de forma mais abrangente. Além disso, foi realizada uma melhor adequação e referência a outras normas já existentes, como, por exemplo, as normas que abordam temas como resistência ao fogo, controle tecnológico do concreto, concreto autoadensável, entre outras. Uma das primeiras decisões da comissão de estudos foi a de manter a abordagem das etapas de projeto, produção e montagem em uma única norma, possibilitando compreender todas as etapas do sistema construtivo. Além disso, a integração e interdependência entre as etapas de projeto, produção e montagem são características das estruturas em concreto pré-moldado e entendeu-se que sua separação poderia significar importantes perdas para o processo, especialmente no que tange à industrialização pela pré-fabricação em concreto, que conceitualmente se difere da produção das estruturas executadas “*in loco*”, não sendo objeto do presente trabalho abordá-las.

2. ESTRUTURA DA NORMA

A estrutura da norma atual é apresentada na Tabela 1. Cabe ressaltar que, na versão de 2006, o tema “aparelhos de apoio elastoméricos” era tratado no anexo A (Informativo) e, na atual versão, o tema é tratado no corpo do texto.

3. DESENVOLVIMENTO

Por se tratar de uma norma multidisciplinar que aborda projeto, produção e montagem, foram organizados grupos de trabalho (GT) para que os assuntos fossem estudados e posteriormente debatidos

► Tabela 1 – Estrutura da norma

ABNT NBR 9062:2017 Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado	
Seção 1	Escopo
Seção 2	Referências normativas
Seção 3	Termos e definições
Seção 4	Símbolos gráficos
Seção 5	Projeto de estruturas pré-moldadas
Seção 6	Projeto de elementos pré-moldados
Seção 7	Ligações
Seção 8	Materiais
Seção 9	Produção de elementos pré-moldados
Seção 10	Manuseio, armazenamento e transporte de elementos pré-moldados
Seção 11	Montagem de elementos pré-moldados
Seção 12	Controle de execução e inspeção
Anexo A	Consideração aproximada da não linearidade física na análise global de 2ª ordem
Anexo B	Consideração aproximada para o dimensionamento de pilares pré-moldados em situação de incêndio

nas reuniões plenárias, a fim de que se imprimisse maior velocidade no processo de revisão. Essa metodologia também permite que muitos itens possam ser desenvolvidos ao mesmo tempo, explorando o conhecimento específico dos membros da comissão. A supervisão dos grupos de trabalho foi realizada pelo coordenador em conjunto com o secretário da comissão de estudos. Alguns dos principais pontos revisados ou introduzidos serão explorados nos próximos parágrafos.

3.1 Análise da estabilidade estrutural e comportamento das ligações viga-pilar

Para as questões ligadas à estabilidade, foi criado um grupo de trabalho, cuja liderança ficou a cargo do professor Marcelo de Araujo Ferreira, do NETPre/UFSCar. Nesse grupo foram explorados os estudos mais re-

centes do comportamento das ligações viga-pilar semirrígidas e análise da estabilidade da estrutura.

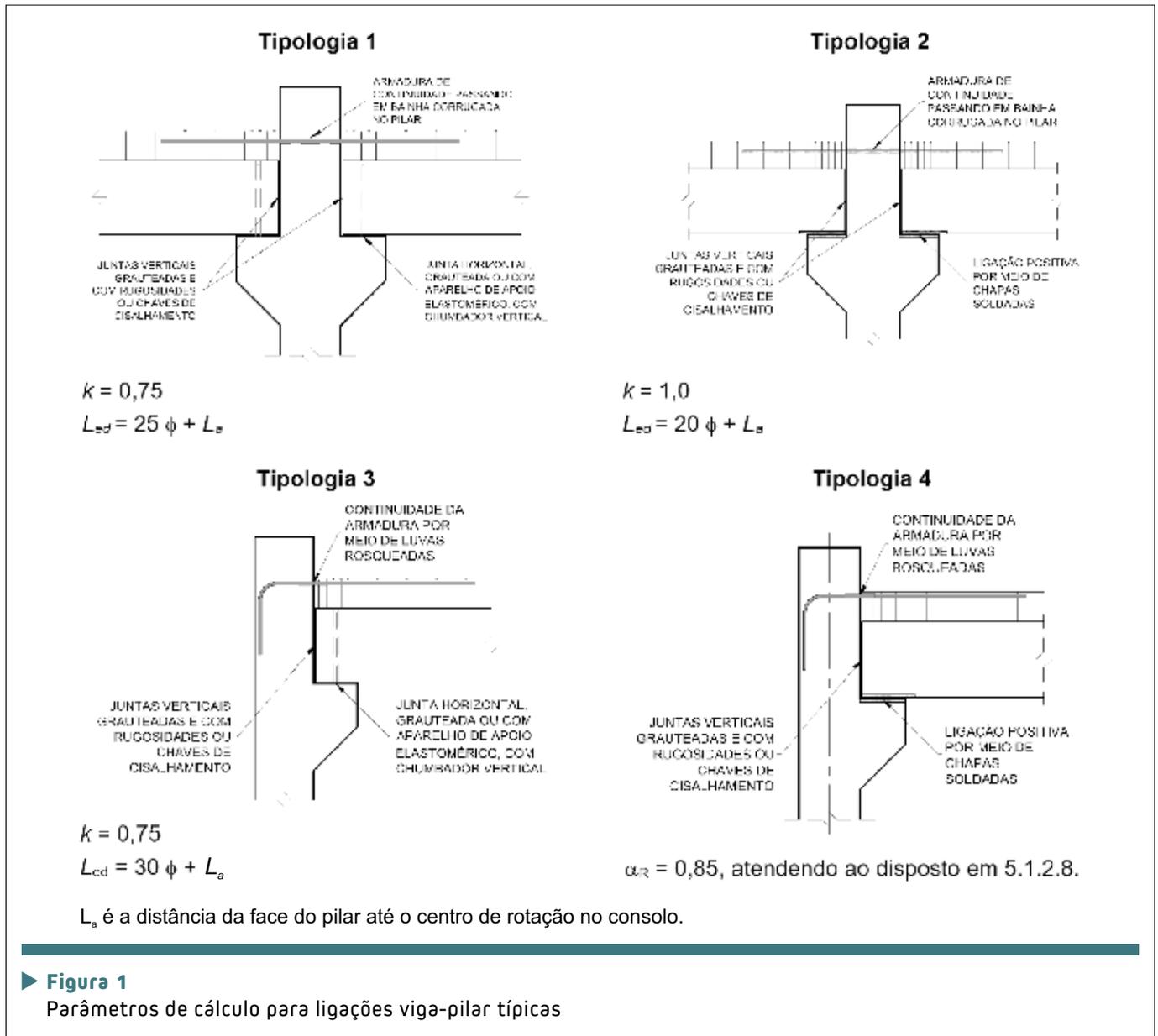
Resultado de muitos trabalhos experimentais que foram elaborados em diferentes dissertações e teses, uma formulação foi criada para determinar a rigidez secante à flexão negativa em ligações viga-pilar com armadura de continuidade local, conforme expressão 1.

$$R_{sec} = k \cdot \frac{A_s E_s d^2}{L_{ed}} \quad [1]$$

A aplicabilidade da expressão e dos parâmetros de entrada foram aferidos para as tipologias mais empregadas de ligações viga-pilar no mercado brasileiro de estruturas em concreto pré-moldado. A Figura 1 ilustra algumas destas tipologias.

Além de apresentar uma expressão universal para avaliar diferentes tipologias de ligações viga-pilar, foram estabelecidos critérios para





que uma ligação seja classificada como semirrígida ou rígida. O fator de restrição à rotação (α_R), conforme expressão 2, continua sendo um parâmetro para classificar as ligações.

$$\alpha_R = \frac{\theta_1}{\theta_2} = \left[1 + \frac{3(EI)_{sec}}{R_{sec}L_{ef}} \right]^{-1} \quad [2]$$

As ligações são classificadas como: articuladas, quando $\alpha_R < 0,15$; em semirrígidas, quando pertencerem ao intervalo $0,15 \leq \alpha_R < 0,85$; e rígidas, quando $\alpha_R \geq 0,85$. A determina-

ção do fator de restrição à rotação (α_R) ficou mais explícita, pois o texto apresenta uma expressão para o cálculo da rigidez secante (R_{sec}) da ligação. Foi também estabelecido outro parâmetro para classificar as ligações: a relação $M_{Sd,rig}/M_{y,lim}$, definida pela relação entre o momento elástico de projeto ($M_{Sd,rig}$) e o momento no início do escoamento da armadura tracionada ($M_{y,lim} = 0,9 A_s f_{yk} d$). Para ligações rígidas deve ser respeitada a relação $M_{Sd,rig}/M_{y,lim} \leq 0,85$, enquanto que, para liga-

ções semirrígidas, $M_{Sd,rig}/M_{y,lim} \leq 1,0$. A relação estabelecida para ligações rígidas estabelece que o dispositivo de continuidade na ligação deve permanecer em regime elástico de tensões para qualquer combinação de ações no ELU (Estado-limite último). Os critérios de especificação das ligações viga-pilar foram complementados com recomendações para o projeto, estabelecendo momentos atuantes limites e disposições construtivas. Com o novo texto base, foi possível abordar

três aspectos importantes de uma ligação viga-pilar: resistência, rigidez e ductilidade.

A consideração da não linearidade física de forma simplificada em vigas, pilares e lajes também foi abordada no texto por meio de coeficientes redutores de rigidez sugeridos, conforme o Anexo A (Informativo).

Foi proposta uma classificação das estruturas pré-moldadas, que correlaciona a deslocabilidade da estrutura com a consideração do efeito de 2ª ordem. A utilização do coeficiente γ_z foi ampliada para edificações com menos de quatro pavimentos, desde que a geometria da estrutura apresente regularidade, não ocorrendo discrepâncias significativas entre os pés-direitos nos pavimentos sucessivos, não ocorrendo variações bruscas acentuadas entre os momentos de inércia dos pilares nos pavimentos sucessivos.

3.2 Projeto da estrutura em situação de incêndio

De extrema relevância, o tema de projeto de estrutura em situação de incêndio foi, na versão de 2006, abordado em apenas 4 linhas e referenciava a norma ABNT NBR 15200. No entanto, existia uma lacuna na abordagem de alguns elementos em concreto pré-moldado, para lajes alveolares e painéis maciços de concreto. A revisão da norma permitiu estabelecer critérios e parâmetros de dimensionamento para os elementos citados. Esse grupo de trabalho teve a colaboração do professor Fernando Stucchi, da POLI/USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), que conduziu uma

► Tabela 2 – Relação da redução de cortante

TRRF	Espessura das lajes (com ou sem capa) mm		
	$V_{Rd \text{ incêndio}} / (V_{Rd})$ %		
	≤ 210	220 - 350	> 350
30	100	100	100
60	80	75	70
90	75	70	65
120	70	60	55
180	50	45	45

avaliação baseada nos Eurocódigos e normas europeias específicas, como a espanhola. Além de debater o tema com especialistas no âmbito da fib (International federation for structural concrete), foi promovida uma validação dos critérios propostos junto ao coordenador da ABNT NBR 15200, o professor Valdir Pignatta, da POLI/USP.

Para as lajes alveolares foram consideradas três condições de contorno para dimensionamento à flexão: lajes biapoiadas, lajes biapoiadas confinadas e lajes contínuas confinadas. A definição da distância da face do elemento estrutural ao eixo da armadura (c_1) depende de três fatores:

- Condição de contorno;
- $M_{sd \text{ incêndio}}$: Esforço solicitante de projeto para combinação de ações na situação de incêndio;
- TRRF: Tempo requerido de resistência ao fogo.

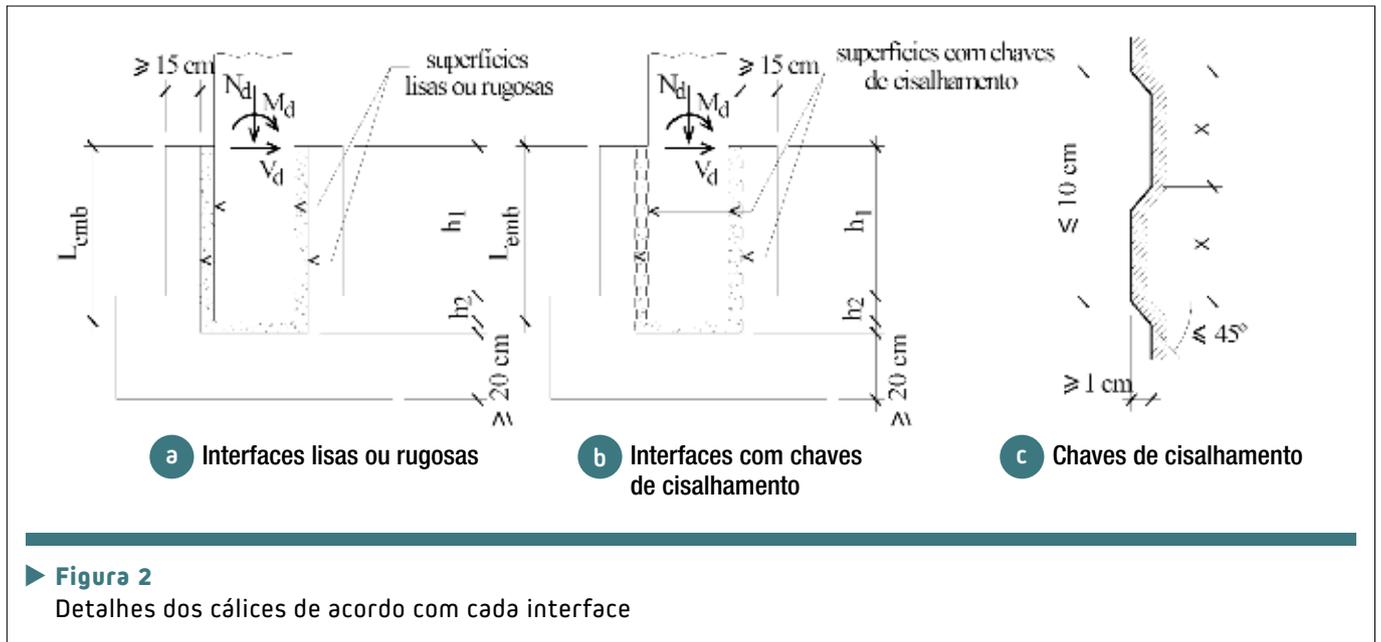
Para avaliação da capacidade à força cortante foram estabelecidas relações de redução, conforme Tabela 2. Uma das referências para elaboração da Tabela foi a EN 1168:2011[2].

Os critérios estabelecidos para avaliação dos painéis maciços em situação de incêndio tiveram como principal referência o manual do PCI [3], que correlaciona a espessura do painel com o tipo de agregado empregado na sua produção e o TRRF (Conforme Tabela 3).

► Tabela 3 – Espessura mínima do painel maciço em função do TRRF e tipo de agregado

Tipo de agregado	Espessura efetiva em função da resistência ao fogo mm				
	1 h (60 min)	1,5 h (90 min)	2 h (120 min)	3 h (180 min)	4 h (240 min)
Argila expandida, vermiculita ou ardósia expandida	65	80	90	115	130
Pedras calcárias	75	90	110	135	160
Pedras silicosas (quartzos, granitos ou basaltos)	80	100	120	150	175





► **Figura 2**
 Detalhes dos cálices de acordo com cada interface

3.3 Estado-limite de deformação

Foi alterado o limite de deslocamento horizontal de galpões para $H/400$ e de edificações térreas com laje para $H/500$, onde H representa a altura total da edificação. Para deslocamentos verticais foram definidos limites em função do momen-

to da medição: na fabricação do elemento, montagem do elemento, após a estrutura ser solidarizada e diferido no tempo.

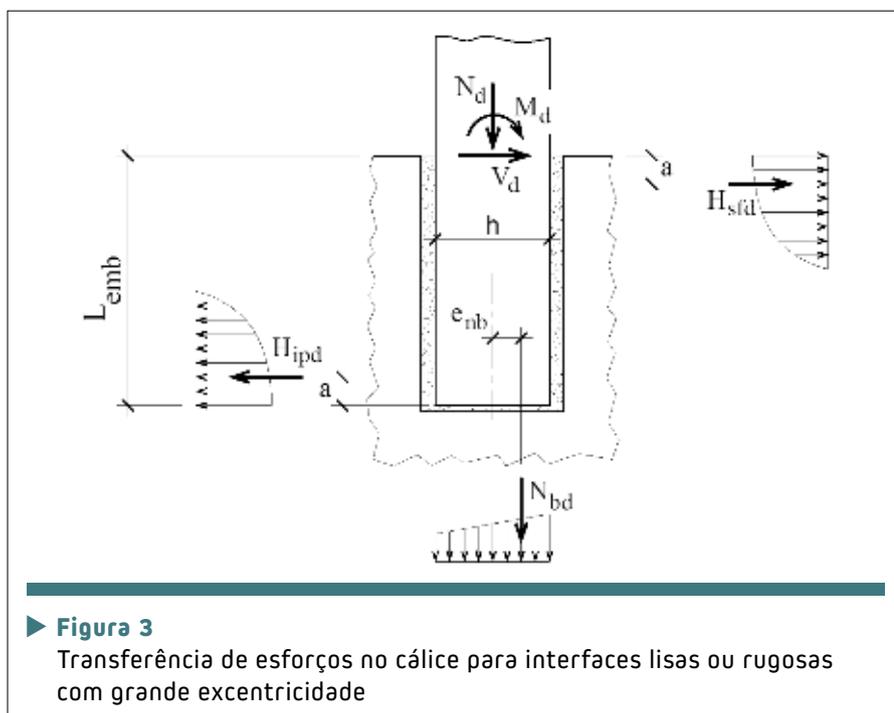
3.4 Avaliação de conformidade de projeto

Em consonância com a ABNT NBR 6118:2014, foi introduzido o

tema de avaliação de conformidade de projeto para estruturas em concreto pré-moldado. Foi acrescentada uma lista com algumas das atividades desempenhadas pelo verificador.

3.5 Fixação de vergalhões com adesivos químicos injetáveis

Esse item da norma teve a colaboração de fornecedores de adesivos químicos injetáveis, que, em alguns manuais, indicam as referências de utilização dos seus produtos. No entanto, este importante tema não tinha o espaço necessário na versão anterior da norma. Foram apresentadas diretrizes para o dimensionamento à tração de vergalhões, entre os quais, profundidade mínima e máxima dos furos, diâmetro dos furos, distância crítica do vergalhão à borda e entre vergalhões. A penalização ocorrida na resistência dos vergalhões fixados com adesivos químicos perturbados pelas condições de contorno foi proposta por meio de fatores de



► **Figura 3**
 Transferência de esforços no cálice para interfaces lisas ou rugosas com grande excentricidade

redução. Esses fatores de redução se superpõem quantas vezes ocorrer à simultaneidade das condições de contorno. Também foi evidenciada a importância da supervisão e inspeção na fase de execução.

3.6 Ligações de pilar com a fundação por meio de cálice

O item destinado a ligações de pilar com fundação por meio de cálice coube ao grupo conduzido pelo professor Mounir Khalil El Debs, da EESC/USP. Foi realizada uma grande revisão das expressões apresentadas para o dimensionamento do colarinho. As expressões propostas são resultado de trabalhos de modelagem numérica e experimentais em estudos de mestrado e doutorado. A norma apresentou a possibilidade de dimensionamento segundo três tipos de interface: lisa, rugosa ou com chaves de cisalhamento. Na interface rugosa, a rugosidade deve apresentar dimensões mínimas de 3 mm a cada 3 cm. Na interface com chave de cisalhamento, a profundidade mínima deve ser de 1 cm a cada 5 cm. Na Figura 2 são apresentados os detalhes dos cálices de interfaces lisas ou rugosas e de interfaces com chaves de cisalhamento.

A Figura 3 ilustra esquema sobre a transferência de esforços no cálice para interfaces lisas ou rugosas com grande excentricidade.

Para cálices de interfaces lisas ou rugosas, foram propostas as expressões 3 e 4 para determinação dos esforços no topo e no fundo do cálice.

$$H_{sfd} = \frac{\left\{ M_d - N_d \left[0,25h + \mu \left(\frac{0,1L_{emb} - 0,75\mu \cdot h}{1 + \mu^2} \right) \right] + V_d \left[L_{emb} - \left(\frac{0,1L_{emb} - 0,75\mu \cdot h}{1 + \mu^2} \right) \right] \right\}}{0,8L_{emb} + \mu \cdot h} \quad [3]$$

► Tabela 4 – Parâmetros de entrada para análise de cálices de interface lisa ou rugosa

	e_{nb}	a	μ (Interface lisa)	μ (Interface rugosa)
Grandes excentricidades ($(M_d/(N_d \cdot h)) \geq 2$)	$h/4$	$L_{emb}/10$	$\leq 0,3$	$\leq 0,6$
Pequenas excentricidades ($(M_d/(N_d \cdot h)) \leq 0,15$)	0	$L_{emb}/6$	0	$\leq 0,3$

$$N_{bd} = \frac{N_d - \mu \cdot V_d}{1 + \mu^2} \quad [4]$$

Os parâmetros de entrada utilizados nas expressões podem ser vistos na Tabela 4 para situações de grande e pequenas excentricidades. Para situações de excentricidade intermediárias os valores podem ser obtidos por interpolação linear. Para análise de punção deve ser considerado no mínimo 50% do carregamento normal atuando na parte da fundação abaixo da base do pilar.

Para cálices de interfaces com chave de cisalhamento, foram propostas as expressões 5 e 6 para análise da transferência de esforços no cálice. Para análise de punção

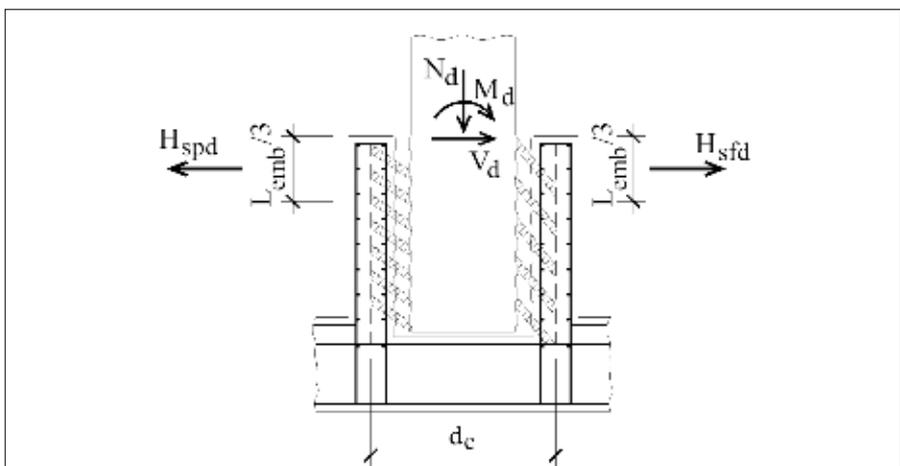
deve ser considerado no mínimo 20% do carregamento normal atuando na parte da fundação abaixo da base do pilar. A área de transferência é formada pela seção do pilar somada ao concreto de preenchimento e colarinho.

$$H_{sfd} = \frac{[M_d + V_d L_{emb} + N_d(0,5d_c)]}{2,60d_c} \quad [5]$$

$$H_{spd} = \frac{[M_d + V_d L_{emb} - N_d(0,4d_c)]}{0,63d_c} \geq 0 \quad [6]$$

Na Figura 4 é apresentada a transferência dos esforços nos cálices de interfaces com chaves de cisalhamento.

As disposições construtivas também sofreram mudanças. A espessura



► Figura 4 Transferência de esforços no cálice para interfaces com chaves de cisalhamento



da parede do colarinho passou a ser de no mínimo 15 cm e a espessura da fundação abaixo da base do pilar de no mínimo 20 cm. No caso de interfaces lisas ou rugosas, a ancoragem da armadura longitudinal do pilar deve ser determinada considerando seu início a uma distância de metade do comprimento de embutimento do pilar do topo do cálice. No caso de interfaces com chaves de cisalhamento, as ancoragens da armadura longitudinal do pilar e vertical do cálice devem atender à condição de emenda por transpasse.

3.7 Montagem

A seção destinada à montagem de elementos pré-moldados, antes abordada em poucas linhas, foi reformulada e ampliada com o acréscimo de conteúdo. A ABCIC liderou um grupo que trabalhou com fabricantes, avaliando as melhores práticas de produção, montagem e controle de qualidade. Esse grupo foi coordenado por Íria Doniak, presidente executiva da ABCIC. Foram utilizados como referência procedimentos de empresas certificadas no Selo

de Excelência ABCIC, programa introduzido no setor desde 2003, através do qual as empresas são avaliadas periodicamente em auditorias de terceira parte pelo IFBQ (Instituto Falcão Bauer da Qualidade), que disponibilizaram as informações para debate. Neste contexto é importante destacar o lema da entidade de que a padronização é a base do desenvolvimento sustentável do setor. A evolução das empresas é nítida pós implementação do programa em 2003, proporcionando importante grau de maturidade para o debate e “*feedback*” para a normalização. O manual do PCI[4], dedicado a montagem, também foi uma importante referência na elaboração do texto.

Nessa seção ficou estabelecida a importância e responsabilidade técnica do engenheiro de montagem, que deve orientar e supervisionar os itens relacionados à montagem dos elementos. A Seção foi dividida em seis subseções, conforme Tabela 5, que contempla um resumo dos pontos abordados.

3.8 Materiais

Esse grupo de trabalho contou com a contribuição do professor Paulo Helene, da POLI/USP, que avaliou de forma amostral as práticas atuais e procedimentos de Controle Tecnológico de Concreto adotadas pelo setor, em laboratórios instalados em unidades fabris, certificadas no Selo de Excelência ABCIC e revisou o texto pertinente relacionado à amostragem, critérios de aceitação e desvio padrão do concreto. Foi abordada também a utilização do concreto autoadensável, que é utilizado em

► Tabela 5 – Pontos abordados na seção de montagem

Montagem de elementos pré-moldados	
Subseções	Pontos abordados
Planejamento de montagem	<ul style="list-style-type: none"> ■ Avaliação das possíveis interferências no terreno, dos acessos externos e internos; ■ Estabelecimento da sequência de montagem contemplando as condições de acesso, equipamento utilizado, requisitos do cliente, avaliação das ligações entre os elementos, estabilidade estrutural e cronograma da obra.
Procedimentos de montagem	<ul style="list-style-type: none"> ■ Instruções de montagem contemplando a sequência de montagem dos elementos e execução de ligações provisórias e permanentes, tipo de elemento, resistência do concreto para cada etapa; ■ Memórias de cálculo evidenciando a adequação dos equipamentos de montagem e dispositivos auxiliares para a realização da obra, bem como laudos da condição de uso e manutenção; ■ Plano de Rigging; ■ Aprovação do plano de montagem pelo projetista da obra em todas as situações. Limitação do número de pavimentos montados sem solidarização ou capeamento; ■ Atendimento as tolerâncias de montagem, desaprumo e instalação de aparelho de apoio.
Carregamento crítico	<ul style="list-style-type: none"> ■ Análise das fases transitórias de desforma, manuseio interno, estocagem, transporte, içamento e montagem; ■ Carregamentos adicionais durante a etapa de montagem.
Contraventamento e apoios	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verificação dos apoios quanto à integridade e correto funcionamento; ■ Verificação dos contraventamentos, principalmente quando estas ligações devem ser executadas antes do equipamento de montagem ser desmobilizado.
Calços para nivelamento	<ul style="list-style-type: none"> ■ Composição dos materiais de nivelamento; ■ Condições de utilização dos calços.
Escoramento	<ul style="list-style-type: none"> ■ Importância do projeto de escoramento; ■ Situações transitórias de carregamento; ■ Duração e sequência do escoramento; ■ Montagem dos elementos do escoramento.

66,7 % das indústrias de concreto pré-fabricado, segundo sondagem do setor realizada anualmente pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e publicada nos anuários da ABCIC[5].

Além das principais alterações abordadas na revisão atual, cabe também destacar neste artigo um conceito introduzido em 2006 que permaneceu na versão atual, o Projeto acompanhado por verificação experimental. Este conceito está presente nas normas internacionais e é de vital importância para o desenvolvimento tecnológico do setor, devido aos contínuos trabalhos e pesquisas visando o aprimoramento. Em especial destacam-se temas de fundamental importância, como tecnologia de concreto, estudos de ligações, processos de logística rápida, que constantemente evoluem e são objetos de estudos e pesquisa permanente no âmbito internacional e no país.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A publicação da ABNT NBR 9062:2017 irá contribuir para o aumento da utilização e compreensão do sistema construtivo em concreto pré-moldado pela sociedade. Importantes lacunas foram preenchidas com a revisão, como a complementação das especificações para projeto, produção e montagem. Em consonância com a

pré-fabricação no mundo, a norma revisada irá permitir que estruturas especificadas total ou parcialmente em concreto pré-moldado ganhem novas aplicações, com segurança, em obras de variadas dimensões. Como, por exemplo, em edifícios com mais de 50 pavimentos, com a possibilidade de muitas aplicações em sistemas mistos ou híbridos.

O trabalho de revisão da ABNT NBR 9062 envolveu uma grande quantidade de temas, com muitas alterações e por um longo período, onde novos assuntos foram introduzidos. Uma vez que a norma foi publicada, o próximo desafio é a divulgação do seu conteúdo na sociedade. A norma é um importante instrumento de regulação e orientação entre consumidores e produtores. Espaços de divulgação e debate, como os proporcionados pelo IBRACON por meio de suas revistas, congressos e manuais, e proporcionados pelas demais associações e entidades envolvidas, como a ABCIC e ABECE, possibilitam essa divulgação e aprimoramento do seu conteúdo para próximas revisões.

5. AGRADECIMENTOS

O autor, em nome da ABCIC, agradece a dedicação e contribuição do coordenador da comissão de estudos, engenheiro Carlos

Eduardo Emrich Melo, que coordena a comissão desde a versão de 2006. Ao engenheiro Eduardo Millen, representante da ABECE, que acompanhou a totalidade das reuniões, sempre promovendo importantes debates. A engenharia, Inês Laranjeiras da Silva Battagin, Superintendente do ABNT/CB-18 e Diretora Técnica do IBRACON, ao engenheiro Salvador Benevides, Superintendente do ABNT/CB-02 e à engenheira Iria Doniak, Presidente Executiva da ABCIC, pelas contribuições e apoio. À fib (International federation for structural concrete), na pessoa do coordenador da comissão 6 de pré-fabricados, Stef Mass (Bélgica), que tem sido desde 2008 importante fórum no desenvolvimento do sistema no contexto mundial e apoio fundamental no esclarecimento e aprofundamento de vários temas. Ao engenheiro José Zamarion Ferreira Diniz (in memoriam), que na versão anterior se dedicou exaustivamente ao tema, possibilitando a abertura de requisitos importantes para o contínuo desenvolvimento dos trabalhos, e à engenheira Daniela Gutstein, que secretariou a versão de 2006 e iniciou a secretaria da atual versão, tendo se desligado por motivos de ordem profissional, mas que se dedicou em especial ao processo de transição. 📧

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017
- [2] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1168:2005+A3: Precast concrete products – Hollow core slabs. Brussels: CEN-European Committee for Standardization, 2011
- [03] PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. Design for fire resistance of precast/prestressed concrete. Chicago, 2011
- [04] PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. Erector's manual: Standards and guidelines for the erection of precast concrete products. Chicago, 1999
- [05] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. Anuário ABCIC. São Paulo, 2016.



ABNT NBR 16475:2017 – painéis de parede de concreto pré-moldado

AUGUSTO GUIMARÃES PEDREIRA DE FREITAS – ENGENHEIRO CIVIL

PEDREIRA ENGENHARIA LTDA

Recentemente, mais precisamente, em 15 de março deste ano, foi publicada a norma ABNT NBR 16475:2017: Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos. Com 61 páginas, a norma tem o objetivo de estabelecer os requisitos e procedimen-

tos a serem atendidos no projeto, na produção e na montagem de painéis de parede pré-moldados que se enquadram nos critérios de classificação estabelecidos na Seção 5.

Com a publicação, conclui-se um trabalho iniciado em 27 de setembro de 2012, ou seja, com 4 anos e meio de trabalho, por uma comissão não remunerada (como todas as comissões da ABNT), que se debruçou sobre o conhecimento técnico disponível no Brasil e no mundo para desenvolver uma norma que representa o estado da arte do tema.

Na verdade, essa norma começou a ser concebida em reuniões da Abcic (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto), coordenadas por sua presidente-executiva, Iria Doniak, quando se vislumbrou a necessidade da normalização desse tipo de pré-moldado, já com muito uso no Brasil e no mundo. Tal ação estava em pauta desde 2008, quando, após a realização da 1ª Missão Técnica da Abcic (2008), que abrangeu Bélgica e Inglaterra, momento em que o setor entendeu como necessário, para que houvesse o avanço tecnológico das estruturas pré-moldadas de concreto, que, além da norma vigente a NBR 9062 Projeto e Execução de Estruturas Pré-Moldadas,

também revisada e atualizada em 2017, produtos com maior complexidade de fabricação ou com diferentes tipologias, caso das lajes alveolares, estacas e painéis, tivessem normas específicas que respaldassem a especificação por parte dos projetistas. Demanda que foi acolhida na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e direcionada para o CB-18 (Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados). Havia também uma preocupação com o crescimento desordenado da utilização em distintas aplicações desses produtos, o que poderia comprometer a longo prazo o uso do sistema construtivo, por falta de padronização. O desenvolvimento dessas normas específicas teve início com a publicação da ABNT NBR 14861:2011 Lajes Alveolares pré-moldadas de Concreto Protendido, e posteriormente, em 2014, a publicação da ABNT NBR 16258 Estacas Pré-fabricadas de concreto. Etapa que agora se conclui com a publicação da ABNT NBR 14675. Contribuiu também para essa visão a atuação das entidades ABCIC e ABECE (Associação Brasileira de consultoria e Engenharia Estrutural) junto a *fib* (*international federation for structural concrete*).

Tendo participado desde o início dessas reuniões, aceitei o convite da



Brascan Century Plaza
R. Joaquim Floriano, 466 – Itaim Bibi,
São Paulo, SP

revista CONCRETO & Construções para compartilhar a experiência sobre o desenvolvimento desta norma. Posso adiantar que foi uma experiência riquíssima, por gerar o entendimento de como funciona a normalização, o quão sério é o processo e a necessidade da negociação em busca da unanimidade dentro da comissão para definição de conceitos. A convivência com profissionais de primeira linha e o grande aprendizado em cada reunião e discussão foram o maior legado que esse trabalho me deixou, que posso resumir desta forma:

“Participar de uma comissão de norma te enriquece como profissional, e sua participação ajuda a Engenharia Nacional a se enriquecer, mesmo que sua contribuição não seja a maior, afinal como aprendi há muito tempo, ninguém é tão grande que não possa aprender e ninguém é tão pequeno que não possa ensinar!”

OS MOTIVOS PARA SE DESENVOLVER A NORMA DE PAINÉIS DE PAREDE DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Sempre me questioneiei por que existiam normas de diversos componentes, alguns que julgava não tão relevantes, e não existiam de outros, alguns muito relevantes. Trabalho com sistemas construtivos que usam Painéis pré-moldados desde os anos 80, seguindo a história de meu pai, Antônio C L Pedreira de Freitas, que já trabalhava com isso desde os anos 70. Vale comentar que, fora do Brasil, se tem notícia do uso de painéis desde a reconstrução da Alemanha pós-guerra, a partir de 1945. Ao longo desses mais de 30 anos de trabalho, “sofremos” muito com a questão de projetarmos algo sem ter o respaldo de uma norma, sendo este um dos objetivos para sua proposição.



Central Park Prime
Rua Antônio de Lucena, 66 – Tatuapé – São Paulo, SP

Outro objetivo era buscar, através do alinhamento do conhecimento técnico disponível no Brasil e nas referências internacionais, conceitos técnicos, requisitos e diretrizes que possibilitem o desenvolvimento de projetos e produtos com a segurança necessária. Por sua vez, a normalização permite que mais profissionais tenham acesso às informações técnicas, possibilitando uma expansão da utilização dos produtos. Observando o impulso que a normalização das Redes de Concreto moldadas no local tinha dado àquele sistema, vislumbrava-se que o mesmo poderia ocorrer com os Painéis, possibilitando um avanço da engenharia nacional neste sistema.

Mesmo sem a normalização e em função de grandes obras de segmento econômico (no caso de painéis estruturais) e no de fechamento de galpões, edifícios comerciais e shoppings (no caso de painéis não estruturais) durante a grande expansão da construção civil (2003-2011), diversos fornecedores e projetistas se “aventuraram” em novos sistemas. Ainda que tomassem todos os cuidados, a falta de alinhamento de conceitos e o risco de se ter problemas

nas obras com a utilização desses produtos tornaram-se expressivos. A normalização permitiria o nivelamento de conceitos, além de estabelecer critérios de detalhamento, produção e montagem, minimizando os riscos de insucessos que poderiam comprometer o desenvolvimento de novos sistemas.

A FORMAÇÃO DA COMISSÃO

No final de 2012, com esses objetivos, um grupo de profissionais se reuniu para discutir e propor o desenvolvimento de uma Norma Brasileira para painéis de parede. Por se tratar de um produto pré-moldado, o trabalho foi realizado na Comissão de Estudo de Lajes Alveolares e Painéis Pré-Moldados de Concreto, no âmbito do ABNT/CB-18 – Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da Associação Brasileira de Normas Técnicas, com participação ativa do ABNT/CB-02 Comitê Brasileiro da Construção Civil.

A Comissão de Estudo contou com a participação de mais de 90 profissionais, representando 59 entidades/empresas, reunindo fabricantes, projetistas, construtores, laboratórios de controle



tecnológico e demais profissionais interessados no tema e esteve sob minha coordenação para este trabalho, secretariado pela colega Daniela Gutstein, no primeiro ano de discussões, e pelo colega Fabrício da Cruz Tomo, de 2014 até a publicação.

Ao se iniciar uma norma, o ideal é que se tenha um texto-base (a partir de uma norma internacional ou criado por um grupo de profissionais qualificados) para o início das discussões e que direcione o texto da norma. Infelizmente, neste caso, não se tinha e foi necessário desenvolver a norma “a partir do zero”, o que dificultou muito os trabalhos, mas, em contrapartida, possibilitou uma investigação mais ampla, com participação de um número maior de profissionais. Agregou valor ao processo as informações oriundas de empresas fabricantes no âmbito da Abcic, especialmente por terem seus procedimentos de execução e controle descritos,



Prédio em painel de parede de concreto pré-moldado

oriundos do Selo de Excelência Abcic, programa que atesta qualidade, segurança e meio ambiente das empresas integrantes, bem como os Datecs (Documentação de Avaliação Técnica) das empresas que, para o caso da aplicação em edificações habitacionais, já haviam sido aprovadas pelo SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica) no âmbito do PBQP-h, Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat - Ministério das Cidades, especialmente os que envolviam a comprovação do atendimento à Diretriz Sinat 002- Sistemas de paredes integrados por painéis pré-moldados de concreto ou mistos para emprego em edifícios habitacionais, que teve início anterior a publicação da ABNT NBR 15575.

O ESCOPO DA NORMA

Uma vez instalada a Comissão, era preciso decidir o escopo da norma, definindo quais painéis seriam abordados e propondo a divisão dos itens e assuntos a desenvolver. A discussão do escopo não foi pequena. Inicialmente, imaginávamos que o escopo poderia ser o mais amplo possível; o que se mostrou impraticável em função do prazo proposto para a conclusão do trabalho e da disponibilidade dos membros da Comissão.

Após as discussões para se chegar ao necessário consenso, a Comissão decidiu restringir as dimensões dos painéis (menores que 12m de comprimento e 25cm de espessura), não contemplar painéis curvos, painéis submetidos a esforços predominantemente horizontais ou usados como elemento de fundação, além de estabelecer que o escopo deveria contemplar apenas painéis com armação mínima.

Definido o escopo, a questão passou a ser que tipos de painéis deveria-

mos contemplar. Foram feitos convites a fornecedores e projetistas ligados a painéis pré-moldados de concreto para que apresentassem suas tipologias e participassem da Comissão, agregando conhecimento e contribuindo para o desenvolvimento da norma. Nem todos se disponibilizaram a participar e como na Comissão não existiam profissionais com expertise em determinados tipos de painéis, optamos por não contemplá-los nesta primeira edição da norma.

No futuro, em uma próxima revisão, possivelmente novas tipologias serão introduzidas.

Os painéis que estão contemplados na norma são os seguintes:

- ▶ Painel de parede maciço;
- ▶ Painel de parede alveolar;
- ▶ Painel de parede nervurado;
- ▶ Painel de parede sanduíche;
- ▶ Painel de parede dupla;
- ▶ Painel de parede reticulado misto.

Esses painéis (nem todos) podem ser estruturais ou não estruturais, bruto (sem acabamento) ou com acabamento arquitetônico.

PREMISSAS DE DESENVOLVIMENTO E ESTRUTURA TEMÁTICA DA NORMA

O desenvolvimento da norma seguiu sob algumas premissas acordadas pela Comissão no início dos trabalhos. Pode-se citar que as decisões foram tomadas por unanimidade, por ser a primeira versão da norma e porque novos profissionais passariam a desenvolver o sistema a partir da sua publicação, que precisaríamos ser conservadores e abranger todos os processos (desde projeto até produção e montagem). Desta forma, seriam dadas as condições necessárias para o desenvolvimento do sistema e, ao mesmo tempo, os riscos de insucessos seriam menores.

Buscando abranger todas as etapas, do projeto à produção e montagem, definimos que a norma abrangeria, além dos capítulos básicos de uma norma, os seguintes pontos:

- ▶ Durabilidade;
- ▶ Propriedade dos materiais;
- ▶ Comportamento conjunto dos materiais;
- ▶ Segurança e estados limites;
- ▶ Limites para dimensões, deslocamentos e aberturas de fissuras;
- ▶ Instalações;
- ▶ Análise estrutural;
- ▶ Instabilidade e efeitos de segunda ordem;
- ▶ Ligações em estruturas de painéis de parede pré-moldados;
- ▶ Dimensionamento;
- ▶ Integridade estrutural;
- ▶ Métodos de produção de painéis de paredes pré-moldados;
- ▶ Manuseio, armazenamento e transporte;
- ▶ Montagem dos painéis de parede pré-moldados;
- ▶ Controle de execução e inspeção;
- ▶ Documentação técnica.

Não é objetivo deste artigo descrever item a item da norma, mas alguns pontos merecem destaque para o entendimento dos conceitos estabelecidos e das possibilidades de uso.

AÇÕES, EXCENTRICIDADES E DIMENSIONAMENTO

O painel de parede de concreto é uma peça com rigidez elevada em duas direções e extremamente esbelto na terceira dimensão (correspondente à espessura, de 10 a 25 cm). Por isso, é muito importante analisar as condições impostas, considerando especialmente a dimensão onde a peça é muito esbelta (desde a produção até a montagem final), exigindo o conhecimento do pro-



Estoque de painel de parede de concreto pré-moldado

jetista sobre o processo produtivo e a especificação clara em projeto das condições de dimensionamento e limites.

Na produção do painel, a armação necessária exigida para a desforma difere conforme a direção da produção, ou seja, se o painel é moldado na horizontal ou na vertical. Além disso, existe a possibilidade do painel ser produzido horizontalmente numa fôrma basculante, que se inclina para o içamento e a desforma acontecer quase na vertical.

Da mesma forma, se no estoque o painel for armazenado de forma inclinada em cavaletes, ocorrerão ações e deformações diferentes das que ocorrem se o estoque for na posição vertical.

Além de contemplar essas situações, a norma trata com muito critério a questão de excentricidades, fundamental para o dimensionamento do painel, que atua na dimensão crítica da peça. Devem ser analisadas as possíveis excentricidades partindo-se de um valor mínimo, acrescentando a parcela devida à fabricação (imprecisão da fôrma), ao armazenamento (deformação no estoque e empenamento em função da diferença de

temperatura entre faces) e à montagem (devida às tolerâncias no assentamento do painel). Dessa forma, define-se a excentricidade total e o esforço de flexão-compressão que esta produz.

Dito isso, ressalta-se a importância do conhecimento de todo o processo de produção e montagem para o dimensionamento correto da peça, que precisa ainda resistir aos esforços verticais (carregamento permanente e acidental) e horizontais (devido ao vento), usando nestas considerações as contribuições da norma ABNT NBR 16055:2012 - Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações.

AS LIGAÇÕES

As ligações, como em qualquer sistema com uso de peças pré-moldadas, mereceram um destaque especial. Conceitos introduzidos na revisão da ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado estão presentes no capítulo que trata deste tema na norma de Painéis de parede de concreto. São tratadas questões importantes, como





Khobar Towers após a explosão de bomba

os coeficientes de minoração da resistência e os coeficientes de majoração e de ajustamento para as ações, analisando o modo da falha, suas consequências, incertezas, durabilidade e manutenção, além do processo construtivo. Essas questões baseiam-se num trabalho amplo e muito bem desenvolvido pelo colega Marcelo Ferreira, coordenando os grandes profissio-

nais da Netpré/Ufscar.

Ainda com relação às ligações, vale o registro da importância de se compatibilizar as deformações previstas e os critérios de contorno com a estrutura, sobretudo nas restrições de movimentação que precisam ser bem definidas pelo projetista, evitando que o painel seja exigido por ações às quais não foi dimensionado.



Montagem de painel de parede de concreto pré-moldado

INTEGRIDADE ESTRUTURAL: UM TEMA IMPORTANTE COM UMA ABORDAGEM BEM COMPLETA

Os painéis de parede de concreto pré-moldados sempre foram motivo de preocupação do meio técnico em função de um desastre ocorrido em um edifício na Inglaterra em 1968, o Ronan Point, quando uma explosão de gás provocou a ruptura de um painel e este provocou o colapso progressivo de um setor do prédio.

Desde o episódio muitos estudos e testes foram feitos, sendo possível estabelecer critérios de dimensionamento capazes de garantir a integridade estrutural, mesmo no caso de falhas não previstas em algum dos elementos estruturais. A questão do colapso progressivo é uma preocupação que tem se mostrado cada vez mais relevante e pode ser definido como a ocorrência de um dano na estrutura desproporcional a sua causa. Exemplificando com o caso citado, a ruptura de uma parede, mesmo que por uma explosão, não pode gerar a ruptura do edifício ou de parte dele. É um dano muito grande, desproporcional à causa.

A definição do que seria um dano desproporcional à sua causa é extremamente subjetiva e isto tem sido uma dificuldade para a normalização. Na norma mãe, ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de Estrutura de Concreto, o único ponto que trata deste tema é no detalhamento de laje lisa sem vigas, onde o risco de colapso progressivo é muito alto quando não se prevê armações específicas para isto.

Nessa norma, aproveitando-se de uma ampla bibliografia internacional, a Comissão de Estudo responsável pelo trabalho de revisão estabeleceu critérios bem completos que definem armações de amarração para garantir

a integridade estrutural no caso de diferentes falhas e funcionamentos após falhas. Esse procedimento, felizmente ou infelizmente, já foi testado em modelo real em um hotel na Arábia Saudita, o Khobar Towers, em 1996. Dimensionado com esses critérios, o hotel sofreu um atentado com explosões pesadas que destruiu a fachada do edifício, mas a estrutura principal, com painéis pré-moldados, permaneceu íntegra, evitando um desastre maior com dano desproporcional.

Acreditamos que este capítulo da ABNT NBR 16475 representa um grande avanço para a nossa engenharia e que pode ajudar na evolução de outras normas nas quais este tema é tratado muito mais como uma recomendação, sem critérios específicos como os apresentados nesta norma.

COMO FICA A QUESTÃO DE DESEMPENHO?

Finalmente, a outra questão que merece comentários é o atendimento aos requisitos da ABNT NBR15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho. Desde a publicação da norma, muitos questionamentos têm sido feitos com relação às necessidades de comprovação dos sistemas com testes.

Na nossa análise, a norma contempla todos os critérios de dimensionamento e detalhamento da estrutura, permitindo-se projetar e executar os painéis sem dúvidas quanto ao seu desempenho estrutural.



Win Work Chácara Santo Antonio
Rua Luiz Seráfico Júnior, 511 – Jardim Heliomar – São Paulo, SP

Também são tratados na norma os critérios de durabilidade, garantindo a vida útil necessária e os aspectos com relação ao incêndio. Nesse quesito, remeteu-se mais uma vez à ABNT NBR 9062, com a qual tivemos uma interação muito grande e facilitada pela excelente coordenação do colega Carlos Eduardo E. Melo.

Quanto ao desempenho acústico e térmico, por exemplo, em que outros sistemas complementares podem melhorar ou não o desempenho da edificação. Além desses, as ligações podem necessitar de testes para comprovação de desempenho, sobretudo quanto às questões de estanqueidade e durabilidade das juntas entre painéis, entendeu-se que o coreto seria remeter a própria ABNT NBR 15575.

O FUTURO

No futuro, com o compartilhamento de resultados de ensaios (acreditamos que esta será a prática entre os fornecedores), espera-se revisar a norma, in-

troduzindo novas premissas e referências que possibilitem o seu avanço com relação ao desempenho exigido para as edificações. Espera-se também que, com mais colegas usando a norma e desenvolvendo novas tecnologias, possamos evoluir com revisões contínuas que reflitam novos estados da arte da engenharia de painéis de parede de concreto pré-moldado no Brasil.

A aplicação dos painéis pré-moldados de concreto é um importante mercado, com grande potencial de desenvolvimento no contexto da industrialização, especialmente pelas necessidades de agregar maior eficiência, qualidade e produtividade aos processos produtivos na Construção Civil. Especialmente na questão habitacional, os painéis pré-moldados demonstram novamente ser solução eficaz na Europa para atender elevadas demandas de qualidade e produtividade, como a necessidade de construções habitacionais em larga escala para moradias decorrentes da imigração. 🏠

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos.
- [02] ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – Procedimentos .
- [03] ABNT NBR15575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho.
- [04] ABNT NBR 16055:2012 – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos.
- [05] ABNT NBR 16475:2017 – Painéis de Parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos.
- [06] Diretriz Sinat 002- Sistemas de paredes integrados por painéis pré-moldados de concreto ou mistos para emprego em edifícios habitacionais.



Ensaaios não destrutivos para identificação de armaduras em elementos de concreto armado

CLAUDIUS S. BARBOSA – PROFESSOR E CONSULTOR

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

PETRUS GORGÔNIO B. DA NÓBREGA – PROFESSOR ASSOCIADO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

I. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da economia e o crescimento das cidades, aumentando vertiginosamente o valor do metro quadrado nos grandes centros, cada vez mais se observa na construção civil a utilização de edificações existentes – e que foram projetadas para uma utilização específica – adaptadas a uma nova função. Essa alteração muitas vezes vai além da simples alteração da disposição do ambiente e, comumente, ocorre a adoção de ações acima dos valores previstos em projeto em alguma área ou, quando se torna mais relevante, em toda a edificação.

Em edifícios recém-construídos, principalmente aqueles em que os desenhos de forma e de armação estão

em arquivos digitais, a equipe técnica pode ter dados suficientes para a realização de uma nova análise estrutural. Em edifícios mais antigos, muitas vezes o projeto estrutural não está disponibilizado no todo ou em parte, e até existe a possibilidade de alguns desenhos estarem ilegíveis, dificultando o conhecimento de informações necessárias a esta fase de procedimentos. Por outro lado, caso as informações sobre o detalhamento das armaduras estejam facilmente disponíveis, pode haver o interesse (ou dúvida) de algumas das partes envolvidas no processo para ratificar a qualidade da execução da estrutura e, dessa maneira, invariavelmente, mostra-se necessária a conferência da posição, diâmetro e cobertura das barras de aço. Ainda, para a extração de testemunhos de concreto, técnica essencial para determinar a resistência à compressão do concreto em uma estrutura já construída, faz-se necessário o conhecimento da posição e arranjo das barras de aço a fim de evitar conflito com a armadura durante essa extração.

Um exemplo importante que pode ser citado é o do edifício que abrigava a Companhia Sul América de Seguros, projetado em 1922, localizado na Rua Quitanda, na cidade do Rio de Janeiro

e vencedor de prêmio pela execução do *retrofit* no ano de 2012. O edifício foi modernizado e hoje abriga escritórios de empresas nacionais e estrangeiras. Outros exemplos desse tipo de readequação podem ser encontrados em grandes cidades brasileiras, como o Edifício 740 Anastácio e a Subestação Riachuelo – Red Bull Station, ambos em São Paulo.

2. TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS COMUMENTE EMPREGADOS

Intuitivamente, a maneira mais direta de se obter informação sobre as barras da armadura de um elemento estrutural qualquer é por meio da retirada da camada superficial do concreto, deixando-as à mostra.

Essa tarefa, embora simples, demanda muita energia dos executores, cuidados para não causar danos à estrutura e, por fim, a necessidade posterior de recuperação para garantir o desempenho estrutural e sua durabilidade.

Tal técnica, bastante utilizada ao longo dos anos – e ainda hoje, em casos específicos – é conhecida como “escarificação”. Na Figura 1 está ilustrado um pilar de concreto armado que sofreu a remoção do seu revestimento para identificação das barras.



► **Figura 1**
Pilar com a camada de revestimento removida para identificação das barras de aço

Com a evolução da tecnologia nas últimas décadas, ficou cada vez mais acessível à comunidade técnica os aparelhos denominados “detectores de armadura”, chamados comumente de pacômetros (do inglês *pachometer* ou *covermeter*).

No Brasil, ainda não existe uma norma reguladora para esses ensaios, mas a metodologia é prescrita, por exemplo, pelos seguintes códigos internacionais:

- ▶ ACI 228 2R-13: *Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures*. American Concrete Institute;
- ▶ BS 1881-204:1988: *Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters*. British Standards.

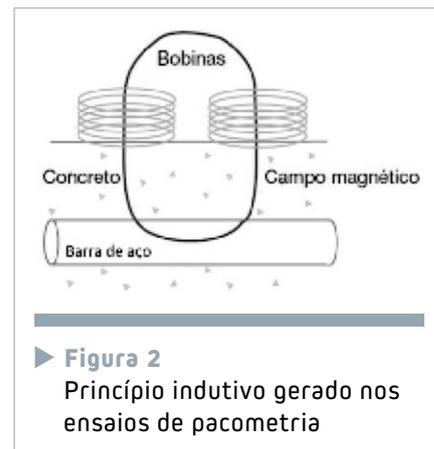
O princípio ativo mais conhecido dos pacômetros funciona com a emissão de um campo eletromagnético e a obtenção, por meio da intensidade e frequência, da estimativa das características das barras de aço, conforme ilustra a Figura 2.

Um campo eletromagnético é emitido por uma sonda e detectado por uma bobina, acoplados em equipamentos portáteis. As bobinas do transdutor são periodicamente carregadas com pulsos de corrente e, assim, geram um campo magnético. Correntes parasitas são produzidas sobre a superfície de qualquer material eletricamente condutor que estiver no campo magnético e induzem um campo magnético na direção oposta. A partir da mudança na tensão são inferidas as características das barras: cobertura e diâmetro.

A grande vantagem desta técnica, sem dúvida, é o caráter não destrutivo, evitando a quebra e recomposição da camada de concreto. É de baixo custo quando comparada com outras técnicas, descritas a seguir, e o resultado é

obtido no momento do teste. Por outro lado, a atividade de reconhecimento das barras não é tão ágil quanto possa parecer, já que o detector apresenta alta sensibilidade e limitações de alcance: a espessura da camada de cobertura, por exemplo, não pode ser muito alta, tendo como limite máximo a faixa entre 7 e 10 cm. Outra limitação da técnica é quando as barras de aço estão muito próximas umas das outras, fazendo o equipamento “confundi-las” como uma única barra de diâmetro maior (Figura 3).

A Figura 3(a) ilustra a situação “ideal”, quando o aparelho detecta uma única barra, e as demais são situações que podem ser aferidas de forma equivocada, quando o aparelho confunde uma barra com uma outra transversal (b); ou com duas muito próximas (c); ou ainda quando essas estão agrupadas em feixe (d).



▶ **Figura 2**
Princípio indutivo gerado nos ensaios de pacometria



▶ **Figura 3**
Interferência gerada por barras próximas





a



b

► **Figura 4**

Marcação, com auxílio do equipamento, do posicionamento das barras na superfície e verificação de suas características

características com precisão: diâmetro e cobertura. A identificação da posição das barras por parte do executor se dá por meio de alerta sonoro ou, para os aparelhos mais modernos, pela interface gráfica na tela do equipamento. Assim, fica evidente que, apesar da maior facilidade que esse procedimento gera para identificação das barras, os dados devem ser analisados com bastante critério a fim de se garantir um

nível de confiabilidade elevado. A experiência e conhecimento técnico da mão de obra executora são muito importantes para interpretação dos resultados e para a maior agilidade do processo.

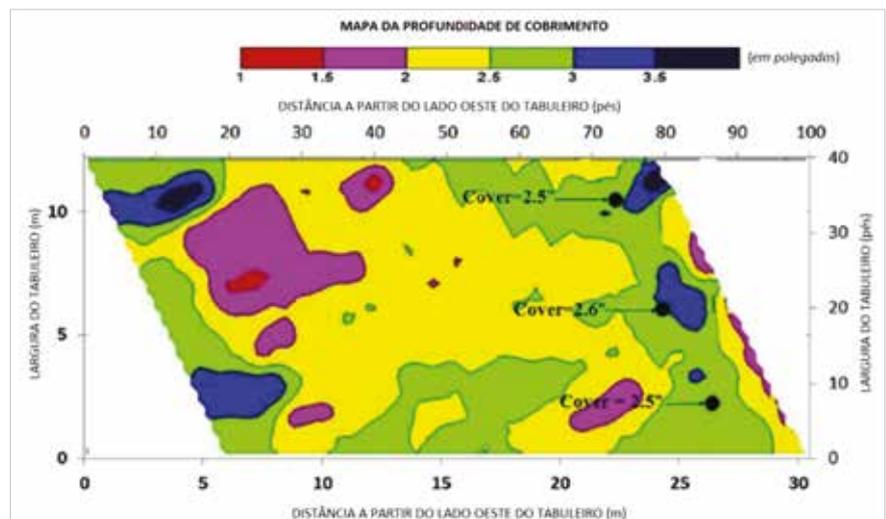
Ainda na Figura 4 pode ser observado que a marcação inicial indicou barras com diâmetro de 40 mm, não usuais, especialmente no caso de edifícios. Este fato indicou e, em seguida, foi confirmada a existência de um feixe de barras.

Outra técnica que vem sendo difundida é o ensaio GPR (*Ground Penetrating Radar*), que tem como princípio ativo a emissão de ondas de rádio para detectar “objetos” no concreto. As ondas são energia eletromagnética emitida e captada pelas antenas do GPR, em frequências superiores a 2000 MHz, que passam pela camada superficial do concreto detectando barras ou outros materiais. Além da posição, diâmetro e cobrimento das barras, é possível identificar vazios no elemento estrutural. Essa técnica também é utilizada para detecção de dutos no solo, por exemplo. A capacidade de detecção das barras é superior a 30 cm de profundidade, maior que os pacômetros convencionais.

Hamasakiet et al. (2003) detalham esse procedimento, destacando que as ondas eletromagnéticas curtas são emitidas por uma antena em direção ao elemento estrutural em concreto, mas a reflexão dessa onda, devido à presença das barras, possui características



a



b

► **Figura 5**

Mapeamento de um tabuleiro de ponte com equipamento do tipo GPR, juntamente com “mapa de profundidade de cobrimento” gerado após tratamento dos dados, adaptada de Hasan e Yazdani (2014)

diferentes da emitida. A antena receptora é a responsável pela determinação do tempo de percurso da onda e pela análise dos dados de retorno. Dependendo do aparelho utilizado e dos softwares de análise de dados, podem-se gerar superfícies tridimensionais oriundas da movimentação das antenas sobre o elemento de concreto. A visualização em tempo real é possível dependendo do tipo de aparelho utilizado. Além das limitações atribuídas à técnica anteriormente descrita, a utilização de concretos com idades baixas podem afetar os resultados em função de suas características de condução e, mais uma vez, alerta-se para a importância da interpretação dos resultados obtidos e da experiência do executor do ensaio.

Na Figura 5 está apresentado um mapa resultante do tratamento de dados após a execução de um ensaio com GPR, desenvolvido por Hasan e Yazdani (2014).

As técnicas descritas anteriormente tornam-se pouco ágeis para levantamentos de grandes superfícies, pois ainda são muito dependentes da mão de obra e da análise dos resultados. Comparando-se a pacometria e o GPR, Hamasaki et al. (2003) concluem que:

- a) A localização da posição das barras por ambos os métodos é satisfatória, com uma precisão de ± 10 mm;
- b) O diâmetro das barras é identificado com uma variação de aproximadamente ± 3 mm;
- c) A camada de cobertura também foi obtida com uma precisão de ± 10 mm, mas, neste caso, o manuseio dos equipamentos por mão de obra treinada há mais tempo levou a menores erros;
- d) O estudo intensivo de técnicos especializados durante 1 semana, na maioria dos casos, garante um bom resultado.

3. METODOLOGIAS EM DESENVOLVIMENTO

Ainda com o custo mais elevado que as técnicas descritas anteriormente, outras duas metodologias se notabilizam pela promissora maior agilidade no levantamento das armaduras, apesar de ainda serem pouco utilizadas comercialmente: a termografia e a radiografia.

O conceito da termografia é induzir o elemento estrutural a um aquecimento, pois o aço das barras altera o fluxo de calor na região. Para isso, a metodologia pode utilizar ar quente, radiação infravermelha ou outras fontes, mas que geram alguma dificuldade em função das maiores ou menores dimensões das peças ou áreas a serem analisadas. Após o aquecimento da superfície, uma câmera de termovisão é utilizada para inspeção da superfície, que são separadas em zonas com temperaturas diferentes. Szymanik et al. (2016) apresentaram um estudo em que foi utilizada a termografia infravermelha para detecção de barras, com a utilização de micro-ondas. Essa técnica tem uma restrição relativa à profundidade da locação das barras (além de 20 mm), limitando sua aplicação àquelas localizadas superficialmente no elemento de concreto. Mostra-se uma técnica mais eficiente para a determinação da posição e direção das barras, mas ainda altamente dependente da interpretação dos resultados, que poderia ser facilitada por meio de uma metodologia complementar como, por exemplo, a pacometria.

Já a radiografia seria um método muito eficiente, mas complicado de se aplicar em função do perigo causado ao operador. Novas técnicas estão sendo desenvolvidas e testadas para melhorar a eficiência do processo de detecção de barras, seu diâmetro e cobertura, como os sistemas com raios-x ou raio-gama, ou ainda a radiografia nêutron,

que permite identificar detalhes e materiais internos no elemento de concreto. O fluxo de radiação, nesses casos, que passa por um objeto seria atenuado de acordo com o tipo de material e o diferencial registrado, revelando detalhes da composição do elemento estrutural.

Atualmente, estão ocorrendo reuniões da Comissão Técnica Setorial de Construção Civil da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para discussão de documentos de normalização, inclusive com a elaboração de um projeto de norma de radiografia de estruturas em concreto.

4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO: ACERTOS E LIMITAÇÕES

Um caso de sucesso foi obtido em uma estrutura de concreto pré-fabricado em que as vigas se apoiavam nos consoles dos pilares. Durante a instalação das vigas, observou-se a formação de fissuras na interface consolo-pilar, o que levou a equipe de montagem a suspeitar de anomalias no processo de fabricação dos elementos. A armação especificada em projeto deveria ser constituída por um tirante e estribos verticais e horizontais, sendo ela responsável por transmitir toda essa reação da viga ao pilar. Nessa obra existiam 4 tipos de consoles, dependendo da interação com os pórticos. Quando da existência de um consolo apenas, num dos lados do pilar, a armadura do tirante seria ancorada com gancho, como indica a Figura 6.

A verificação da posição e diâmetro das barras de aço do tirante por meio da pacometria se mostrou complicada, tanto pela elevada concentração de barras de aço, devida ao pequeno espaçamento entre elas, como pela profundidade em que se encontravam os tirantes em relação à superfície da estrutura. Além disso, como indicado

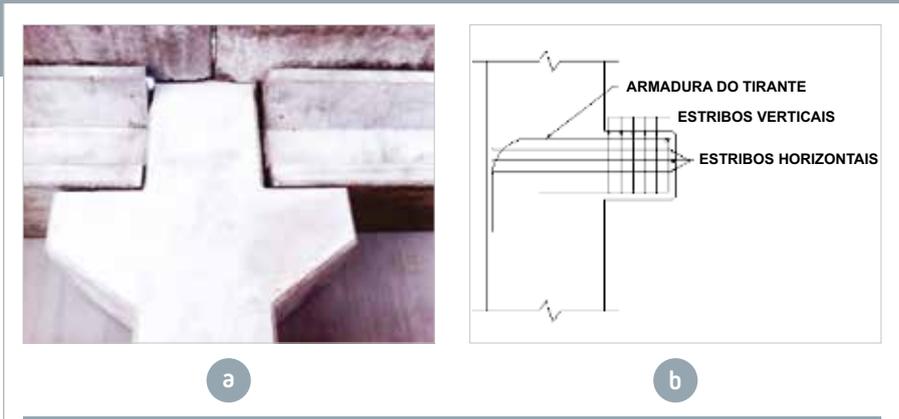


na Figura 7, os tirantes foram posicionados dentro de bainhas para que, em seguida, fossem grauteados. Essa situação, portanto, quase que inviabilizou o trabalho de identificação do detalhe da armação por meio de ensaio não destrutivo, mas, como um dos consoles já estava escarificado, foi possível constatar, previamente, a ausência de grauteamento das bainhas juntamente com a falta de prolongamento dos estribos horizontais dos consoles nos pilares.

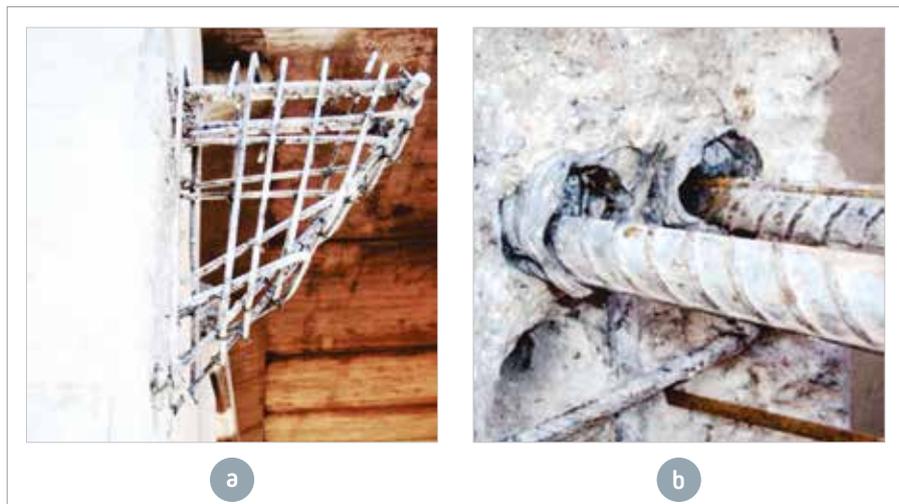
A pacometria buscou identificar os estribos horizontais do console e avaliar se existia ancoragem/conexão com o pilar. Em alguns casos eles estavam presentes no console, conforme identificado no elemento na Figura 8(a). Com isso, foram detectados dois resultados:

- ▶ Os estribos horizontais dos consoles, e seu prolongamento na seção do pilar, são claramente identificados, com cobertura entre 25 e 30 mm;
- ▶ Os estribos horizontais dos consoles são totalmente ou parcialmente identificados, porém não é constatado o seu prolongamento na seção do pilar. Nessa região, identificou-se apenas o estribo do próprio pilar, com espaçamento conforme indicado por projeto (Figura 8(b)); outro indício observado preliminarmente era que os consoles em desacordo apresentavam o cobertura elevada, variando entre 60 a 70 mm.

O primeiro resultado foi o indício de que a armação do console ensaiado foi executada da maneira como prevista em projeto e, portanto, não haveria problema de capacidade portante; já o segundo resultado é um indício de que a armação do console ensaiado foi executada em desacordo com o projeto, provavelmente semelhante à armação apresentada na Figura 7, sem, inclusive, o grauteamento das bainhas, que, apesar de não poder ser identificado por esse ensaio não destrutivo,



▶ **Figura 6**
Detalhe do elemento analisado (a) e croqui esquemático de sua armação (b)



▶ **Figura 7**
Detalhe das armaduras do console



▶ **Figura 8**
Console com armadura conforme (a) e não conforme (b)

foi associado ao erro do detalhamento/armação dos estribos.

Adicionalmente, destacam-se as seguintes constatações, após a realiza-

ção dos ensaios em 55 consoles de um total de 156:

- a) Nos consoles em que a armadura foi executada conforme projeto, o

cobrimento do estribo horizontal é de 25 mm, seguindo especificação de projeto; já nos consoles com erro de armação, o cobrimento verificado foi de aproximadamente 55 mm;

- a) A partir da análise visual dos consoles demolidos, após a escarificação e demolição do concreto do console, verificou-se que a armadura do tirante tem cobrimento de aproximadamente 70 mm em ambas as situações (armação em acordo ou desacordo com o projeto) – essa constatação somada ao fato da região do console

ser densa de armadura inviabilizou a identificação e determinação da bitola da armadura tirante.

Conclui-se que a identificação das anomalias por meio da pacometria foi precisa, já que as 20 indicações de consoles com anomalias foram confirmadas na demolição, com posterior reforço do elemento estrutural.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica GPR e a pacometria são metodologias amplamente utilizadas para identificação de armaduras em ele-

mentos de concreto armado, mostram-se eficientes e são de grande interesse para a construção civil. É importante ressaltar que sua utilização apresenta limitações em função do cobrimento ou proximidade das barras e os resultados dependem da qualidade e experiência do executor dos ensaios e da análise criteriosa dos resultados. Outras metodologias, como a termografia e a radiografia da estrutura, ainda estão em desenvolvimento e vêm sendo testadas em laboratórios; contudo, sua utilização ainda é de uso comercial restrito. ➤

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Hamasaki, H.; Uomoto, T.; Ohtsu, M.; Ikenaga, H.; Tanano, H.; Kishi, K.; Yoshimura, A. (2003). Identification of Reinforced in Concrete by Electro-Magnetic Methods. In: International Symposium (NDT-CE 2003) Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003, v.8, n.10.
- [02] Hasan, I.; Yazdani, N. (2014). Ground penetrating radar utilization in exploring inadequate concrete covers in a new bridge deck. Case Studies in Construction Materials, v.1, pp. 104-114.
- [03] Szymanik, B.; Frankowski, P. K.; Chady, T.; Chelliah, C. R. A. J. (2016). Detection and Inspection of Steel Bars in Reinforced Concrete Structures Using Active Infrared Thermography with Microwave Excitation and Eddy Current Sensors. Sensors 2016, v.16, n. 234. doi:10.3390/s16020234.

COMENTÁRIOS E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ABNT NBR 6118:2014

A publicação traz comentários e exemplos de aplicação da nova norma brasileira para projetos de estruturas de concreto - ABNT NBR 6118:2014, objetivando esclarecer os conceitos e exigências normativas e, assim, facilitar seu uso pelos escritórios de projeto.

Fruto do trabalho do Comitê Técnico CT 301, comitê formado por especialistas do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), para normalizar o Concreto Estrutural, a obra é voltada para engenheiros civis, arquitetos e tecnologistas.

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576244

Formato: 18,6 cm x 23,3 cm

Páginas: 484

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2015

AQUISIÇÃO:
www.ibracon.org.br
(Loja Virtual)



Patrocínio



PRO



Avaliação dos reparos e reforços estruturais em cobertura abobadada

MANUEL FERNANDO SOUSA FERREIRA DOS SANTOS • FLÁVIA LAMIM • ORLANDO CELSO LONGO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

I. INTRODUÇÃO

Este artigo descreve os serviços de reparo e reforço estrutural executados com concreto projetado e resinas poliméricas na cobertura em abóboda de cerâmica armada nas oficinas de manutenção do Metrô RJ dos anos de 1990. Executada em forma de cascas múltiplas, seu projeto original seguiu a cartilha construtiva do engenheiro uruguaio Eládio Dieste, sendo o projeto e execução realizados por seu escritório. Na busca da leveza em conformidade com grande área útil de vãos livres avantajados, a concepção se adequa em harmonia à necessidade de conforto térmico e grande espaço necessário à manutenção das composições. Destaca-se ainda a excelente incidência de luminosidade, que reduz consideravelmente a necessidade de energia elétrica para iluminação. Uma análise recente foi realizada por meio de imagens térmicas no intuito de verificar o comportamento atual da estrutura, e colaborar na manutenção e preservação das abóbodas.

A metodologia de reforço e recuperação das cascas seguiu o dimensionamento da normatização brasileira de concreto à época de sua execução (ABNT – NB1\78). Para o



► **Figura 1**
Área com destaque para a Oficina de Pequenos Reparos (OPR)
Fonte: Google Maps.

cálculo do reforço foi empregada a teoria de membrana clássica.

A execução dos serviços seguiu o prescrito em projeto, sendo de responsabilidade da empresa especializada nesse tipo de reforço.

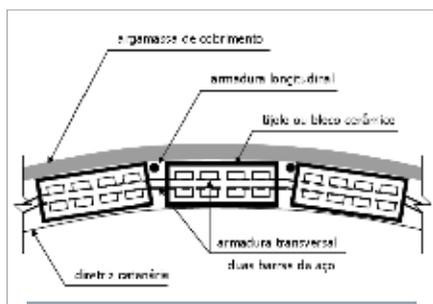
2. LEVANTAMENTO DOS DANOS OCORRIDOS

2.1 Notas Iniciais

O Complexo foi inaugurado em



► **Figuras 2 e 3**
Área interna das oficinas com visualização das aberturas zenitais
Fonte: Autores (2017).



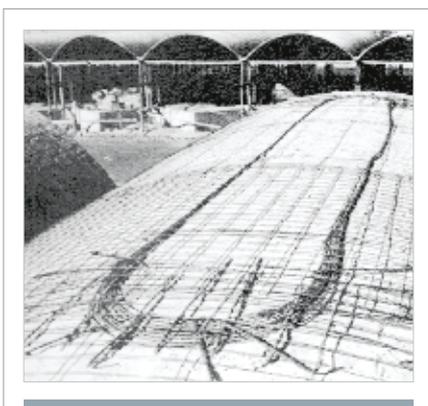
► **Figura 4**
Corte da colocação das armaduras em conjunto com os blocos cerâmicos
Fonte: DIESTE - 1987.

1979, com aproximadamente 60.000 m² de área útil dividida em estacionamento das composições, e duas oficinas, a de grande reparos (OFR) e a de pequenos reparos (OPR).

Utilizando o tipo de abóbodas Gausianas, o Centro de Manutenção representa até a presente data o maior centro de reparos das composições do Metrô. Com a atual expansão, atingiu seu limite, e uma ampliação ou um novo centro deverá ser construído em breve.

2.2 Estrutura da cobertura

Em uma descrição sumária do processo construtivo empregado, a es-



► **Figura 5**
Montagem de cabos e malha na abóboda autoportante
Fonte: DIESTE - 1987.

trutura da cobertura é composta por peças de cerâmica vazadas, recobertas com argamassa e armaduras de tração intercaladas nos interstícios entre as peças cerâmicas. As abóbodas são múltiplas e formam vigas-calha entre suas ligações. Uma armadura pré-tracionada associada a uma malha de aço é inserida sobre as peças cerâmicas para introduzir esforços de pré-compressão ao sistema e permitir a criação dos vãos, sem introdução de pilares intermediários.

2.3 Análise do Laudo inicial e levantamento das patologias

O laudo inicial elaborado por uma empresa de consultoria técnica levantou diversas manifestações patológicas nas abóbodas. Após a realização de uma vistoria minuciosa, foi constatada a necessidade de intervenções de grande monta para prolongamento da vida útil das estruturas. Foram verificadas as seguintes manifestações patológicas:

1) infiltração e empoçamento de águas pluviais, principalmente nas regiões das calhas, com percolação de água e formação de estalactites. A continuação dessa degradação poderia levar a estrutura ao colapso, já que

a corrosão danifica os fios tracionados localizados nas vigas-calha, desequilibrando as forças atuantes e inserindo tensões não previstas inicialmente. As cascas, por premissa de projeto, são em forma de catenária e transmitem os esforços de compressão;

- 2) deterioração da pintura acrílica protetora das abóbodas, que permite a infiltração de água e umidade, oxidando as armaduras e degradando a argamassa que, por imposição do sistema, é de pequena espessura, com aproximadamente 3,0 cm;
- 3) excessiva fissuração próxima à região dos apoios, que advém da deficiência de armadura nos cantos, necessária para a absorção das forças de tração existentes. Essa fissuração acarreta no rompimento da homogeneidade da argamassa, permitindo a entrada de águas pluviais, lixiviando a argamassa e oxidando as armaduras existentes;
- 4) exposição de armaduras ao longo do dorso e calhas, com sua consequente deterioração da argamassa, criando um ciclo repetitivo de corrosão e degradação;
- 5) desagregação da argamassa nos interstícios entre as peças cerâmicas, pela infiltração excessiva de umidade;

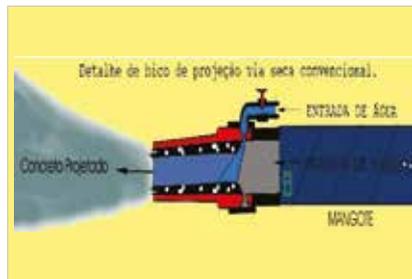
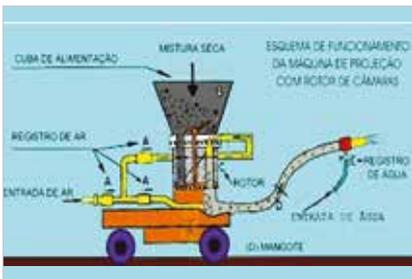


► **Figuras 6 e 7**
Degradação da viga-calha e sua percolação na parte inferior
Fonte: Autores (2017).





► **Figuras 8 e 9**
Exposição de armaduras no dorso da abóboda
Fonte: Autores (2017).



► **Figuras 10 e 11**
Máquina de projeção de concreto e bico de saída
Fonte: Engelok Equipamentos.

6) existência de tijolos partidos e parcialmente expelidos de suas cavidades, pela ação do gradiente térmico existente entre as áreas do dorso e intradorso nas abóbodas.

As manifestações patológicas apresentam-se ao longo de diversos pontos do extradorso das cascas, conforme apresentado nas Figuras 8 e 9.

3. REFORÇO DAS CASCAS COM CONCRETO PROJETADO

Identificadas as manifestações pa-

tológicas existentes à época, foram empregadas as técnicas clássicas de reforço e recuperação. Os serviços visaram restabelecer a integridade da argamassa e armaduras, além de evitar futuras infiltrações.

Inicialmente foram identificadas e marcadas as fissuras com abertura superior a 0,5 mm, sendo essas preenchidas com resina epóxica de baixa viscosidade, após a instalação de purgadores nos domos, de modo a proceder a injeção de modo manual e gradativo.

Foi dimensionada a colocação de uma armadura diagonal, em CA 50, de ϕ 6,3mm, a cada 7,5 cm de modo a resistir às tensões de tração existentes nos cantos fissurados das cascas e limitar a abertura de novas trincas, a valores condizentes com a ABNT NB1-78, vigente à época da execução do reforço.

Para o restabelecimento da argamassa, duas sugestões foram consideradas:

- 1) aplicação de traço em concreto projetado com consumo mínimo de 400 kg de cimento por m^3 .
- 2) utilização de argamassa em traço de 1:3, com emprego de sílica ativa e um superplastificante, para o emprego do menor consumo de água possível.



► **Figura 12**
Malha no aguardo da aplicação do concreto
Fonte: Autores (2017).



► **Figuras 13 e 14**
Substituição dos domos originais por policarbonato translúcido
Fonte: Autores (2017).

A opção foi pela primeira alternativa, tendo em vista a maior desenvolvimento de aplicação, limitada a 2,0 cm de acréscimo nas superfícies após a realização dos reparos necessários.

Cuidado similar foi dispensado à abertura de sulcos para substituição ou implementação de armaduras. O disco cortante não poderia exceder a 1,5 cm de profundidade, para garantir a integridade das armaduras originais. As armaduras danificadas pela corrosão foram substituídas. Houve o acréscimo de uma malha soldada ao longo de toda casca, com traspasse mínimo de 20 cm nas seções.

Antes da aplicação do concreto, as superfícies foram limpas com jato de alta intensidade de água e areia, para remoção de impurezas e auxiliar na aderência do novo material.

Especial atenção foi aplicada à região das calhas, pelo fato já descrito da proteção da armadura de protensão existente na região.

A aplicação de concreto projetado ocorreu por equipamento de câmara dupla, por via seca com impulsão pneumática via compressor diesel de 365 pcm, e hidratação dos grãos no bico do mangote.

As figuras 10 e 11 ilustram um modelo de máquina pneumática para projeção de concreto por via seca, com seu bico aplicador de saída do material.

Ao término, uma camada de impermeabilizante de base acrílica foi aplicado em toda estrutura no intuito de aumentar a durabilidade do reforço executado.

4.. ESTÁGIO ATUAL

Com a privatização da Companhia uma nova etapa de conservação se inicia, fato este reforçado pela avaliação do tombamento da

área pelo município. Nas áreas internas, um novo “layout” foi elaborado, visando à melhor ocupação da área

e distribuição dos serviços. Algumas adequações funcionais foram executadas visando à preservação do



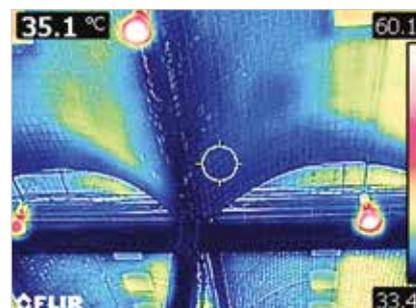
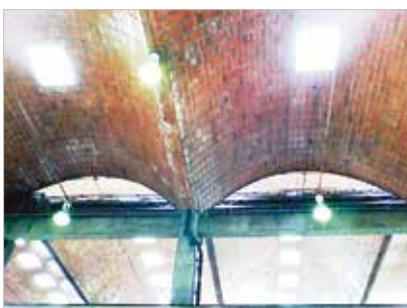
► **Figura 15**
Área livre otimizada para melhor aproveitamento dos vãos

Fonte: Autores (2017).



► **Figuras 16 e 17**
Deterioração da armadura proveniente do acúmulo de umidade

Fonte: Autores (2017).



► **Figuras 18 e 19**
Acúmulo de umidade junto à região da calha

Fonte: Autores (2017).



patrimônio, como a substituição das claraboias em fibra de vidro por outras similares em policarbonato translúcido.

Mesmo com plano de manutenção constante, o acúmulo de água nas calhas continua a causar problemas localizados. O excesso de umidade acumulada deteriora a alvenaria na parte interna do intradorso, fragilizando o ponto, que muitas vezes se desagrega do conjunto. As Figuras 16 e 17 mostram esse fenômeno, com a exposição da armadura da calha e console.

Esse fenômeno pode ser verificado pela série de imagens termo-

gráficas, obtidas pelo equipamento FLIP SC 640, por ocasião da visita às oficinas. A absorção d'água em alguns pontos das calhas e nas descidas pluviais é facilmente observada nas imagens das figuras 18 a 31.

Cada imagem termográfica é acompanhada de sua fotografia do mesmo local para facilitar a visualização. As temperaturas nos cantos superiores determinam as máximas e mínimas do ambiente.

Em uma área mais setorizada da região, tem-se os gradientes térmicos mostrados nas figuras 20 a 24.

A presença da umidade próxima as descidas pluviais é notada pela pelo tom azulado mais intenso. A setorização da região próxima as entradas de iluminação zenital das abóbodas apresentam os gradientes térmicos mostrados nas figuras 25 a 27.

No balanço externo da abóboda não foi detectada presença de umidade, o que indica que a impermeabilização da casca encontra-se em pleno desempenho de sua função. O extremo do balanço apresenta uma maior absorção de calor pela incidência direta do vento e ação direta do sol, observando-se uma variação de mais de 10° C, se comparado com as figuras 19 e 24 na região interna das abóbodas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira grande intervenção desde sua construção, foi constatada a existência de anomalias oriundas de uma ausência de acompanhamento e inspeção frequente das cascas. Verificou-se o início da existência de problemas estruturais, oriundos de ação das intempéries e ausência de manutenção constante. Essas manifestações patológicas foram corrigidas através da intervenção nas áreas internas e externas das abóbodas.

As soluções adotadas mostraram-se de fácil execução e efetivas, o que possibilitou à Companhia dar início à execução dos serviços de reforço necessários para garantia da integridade estrutural do conjunto, servindo de modelo para ser empregado em estruturas similares.

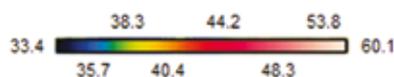
A atual gestora da área introduziu um programa de manutenção periódica e rotineira eficaz, de modo a manter as características originais das cascas e preservar suas condições de estabilidade. 



Note	
Thermo 01	
Measurements	
Sp1	34,4
Sp2	36,8
Sp3	39,0
Sp4	42,3
Sp5	33,5
Parameters	
Emissivity	0,98
Refl. temp.	22,0°C
Distance	15,0m
Atmospheric temp.	20,0°C
Ext. optics temp.	20,0°C
Ext. optics trans.	1,00
Relative humidity	50,0%

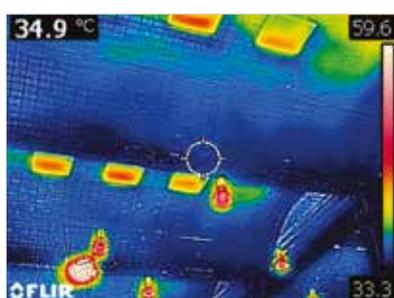
► **Figuras 20 e 21**
Gradiente de temperatura em pontos notáveis da abóboda

Fonte: Autores (2017).



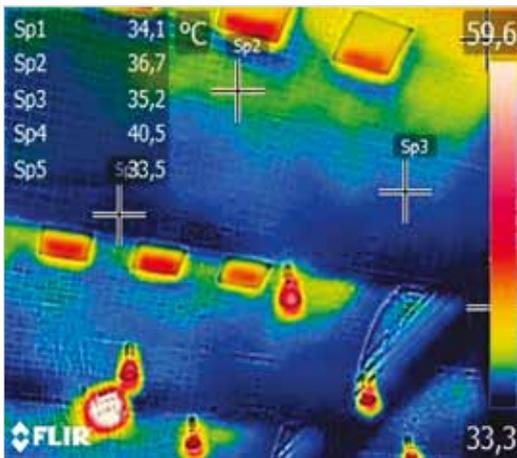
► **Figura 22**
Escala térmica do ambiente, com variação de suas temperaturas

Fonte: Autores (2017).



► **Figuras 23 e 24**
Presença de umidade na região da descida pluvial

Fonte: Autores (2017).



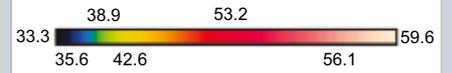
Note
Thermo 02

Measurements

Sp1	34,2
Sp2	36,7
Sp3	35,3
Sp4	40,3
Sp5	33,4

Parameters

Emissivity	0,98
Refl. temp.	22,0°C
Distance	15,0m
Atmospheric temp.	20,0°C
Ext. optics temp.	20,0°C
Ext. optics trans.	1,00
Relative humidity	50,0%

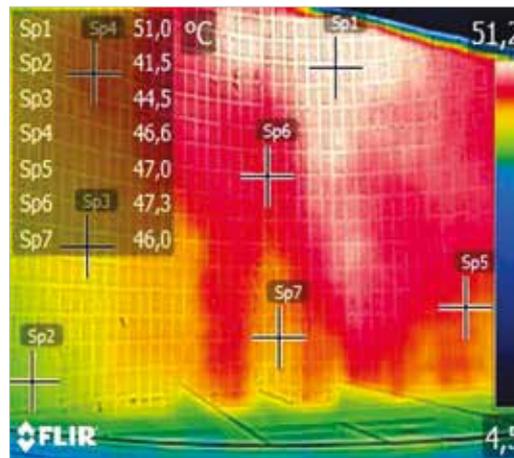
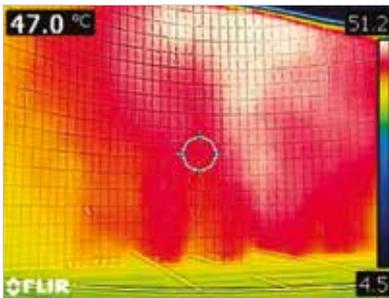


► **Figura 27**
Escala térmica do ambiente, com variação de 33,3 °C a 59,6 °C

Fonte: Autores (2017).

► **Figuras 25 e 26**
Temperatura em pontos próximos as aberturas zenitais

Fonte: Autores (2017).



Note
Thermo 03

Measurements

Sp1	51,0
Sp2	41,7
Sp3	44,4
Sp4	46,6
Sp5	47,0
Sp6	47,3
Sp7	46,0

Parameters

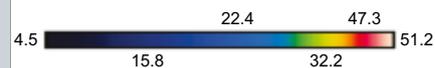
Emissivity	0,98
Refl. temp.	22,0°C
Distance	15,0m
Atmospheric temp.	20,0°C
Ext. optics temp.	20,0°C
Ext. optics trans.	1,00
Relative humidity	50,0%

► **Figuras 30 e 31**
Gradiente térmico no balanço

Fonte: Autores (2017).

► **Figuras 28 e 29**
Cobertura em balanço, sem presença detecção de umidade

Fonte: Autores (2017).



► **Figura 32**
Balanço exposto a incidência solar direta

Fonte: Autores (2017).

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NB-1 Cálculo e execução de obras de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 1978.
[02] DIESTE, ELADIO – La Estructura Ceramica. Colección Somosur, 1987.



Seminário sobre normalização, eficiência e desempenho das estruturas e painéis pré-moldados de concreto

Para apresentar as normas brasileiras ABNT NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado e ABNT NBR 16475 – Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos, recém-publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, e debater seus impactos no mercado, a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (Abcic) promoveu o “Seminário ABCIC – Normalização, eficiência e desempenho das estruturas e painéis pré-moldados: o impacto e a entrada em vigência das novas normas aplicáveis” no último dia 25 de abril, no Instituto de Engenharia de São Paulo.

Em sua palestra, a presidente-executiva da ABCIC, Eng^a Íria Doniak, enfatizou que a normalização é uma das prioridades da entidade, razão pela

qual foi formada no âmbito da ABNT comissões de estudos para normas de produtos específicos. Como consequência dessa ação, foram publicadas as normas ABNT NBR 14861:2011 – Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – Requisitos e procedimentos, ABNT NBR 16258 – Estacas pré-fabricadas de concreto – Requisitos e, agora, a ABNT NBR 16475. “A solicitação para a norma de painéis é resultado do crescimento da aplicação desse

tipo de sistema em todas as edificações, não apenas as habitacionais”, avaliou Doniak, destacando que “a padronização é a base para o desenvolvimento sustentável do setor da construção civil”.

A apresentação das alterações e atualizações da ABNT NBR 9062:2017 ficou a cargo do engenheiro Carlos Melo, coordenador da Comissão de Estudos da ABNT NBR 9062, e do engenheiro Marcelo Cuadrado Marin, diretor técnico da Abcic



Público presente no Seminário ABCIC



Mesa de debates no encerramento do Seminário

e Secretário da Comissão de Estudos da ABNT NBR 9062. Com conteúdo abrangente, englobando aspectos de projeto, produção e montagem, a norma tem hoje 86 páginas, mais do que o dobro da versão de 2006, quando foi publicada com 42 páginas. Segundo os palestrantes, um dos pontos centrais da revisão foi a definição do conceito de rigidez secante das ligações para a perfeita estabilidade global da estrutura. “A definição do fator de restrição da ligação viga-pilar, de onde são derivados os coeficientes de mola e de rotação da viga em relação ao pilar, permite um melhoramento da modelagem espacial do edifício como um todo”, apontou Melo.

Outro ponto importante da norma revisada foi a significativa ampliação do capítulo de montagem e a definição do plano de Rigging, que segundo Marin, “irá contribuir para o desenvolvimento do setor ao agregar mais segurança nas operações em campo com elementos pré-moldados”. O plano de Rigging é o planejamento formalizado de uma movimentação de

cargas com guindaste móvel, visando à otimização dos recursos aplicados na operação (equipamentos, acessórios e outros) para se evitar acidentes e perdas de tempo.

A análise da estabilidade de estruturas pré-moldadas, com foco nas ligações semirrígidas, foi o tema da palestra do professor do Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto da Universidade Federal de São Carlos (NETPRE/UFSCar), Marcelo de Araújo Ferreira.

Os conceitos e perspectivas de desenvolvimento da ABNT NBR 16475:2017 foram apresentados pelo engenheiro Augusto Pedreira de Freitas, coordenador da Comissão de Estudos da ABNT NBR 16475. Ele contou que o principal objetivo na busca por uma norma específica foi o de difundir o uso do sistema construtivo de painéis. “Um sistema que não tem normalização, não tem garantia, afetando sua confiabilidade, o que acarreta insegurança a alguns construtores e agentes financiadores de obras”, explicou. Segundo Freitas, nas dis-

cussões para a produção do texto-base da norma, a comissão de estudos se baseou em experiências nacionais e internacionais de uso de painéis pré-moldados e procurou tomar o cuidado para que a norma não engessasse o sistema, lançando mão de requisitos que favorecessem novos desenvolvimentos. Ainda segundo ele, em relação à Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575), a norma de painéis assegura o desempenho estrutural, mas remete diretamente àquela quando se trata de desempenho à estanqueidade, conforto térmico e acústico.

Sua apresentação foi complementada pelas palestras dos engenheiros Luciana Alves de Oliveira, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), e Marcelo Luis Mitidieri, do Instituto Falcão Bauer, que falaram sobre o desempenho de sistemas habitacionais produzidos com painéis pré-fabricados de concreto.

O Seminário foi encerrado com um painel de debates, mediado por Íria Doniak, que contou com a participação dos palestrantes, da arquiteta





Presidente do IBRACON, Julio Timerman, ladeado à esquerda por Íria Doniak e Jefferson Dias de Souza (presidente da ABECE) e à direita por Suely Bueno (diretora de Normalização da ABECE)

Maria Salette de Carvalho Weber, coordenadora geral do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-h), no âmbito do Ministério das Cidades, e dos superintendentes do ABNT/CB-02 e do ABNT/CB-18, Salvador de Sá Benevides e Inês Laranjeiras da Silva Battagin, respectivamente.

Em sua intervenção, Maria Salette destacou que as novas normas dão celeridade ao processo de avaliação dos sistemas construtivos pelo SINAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas), uma vez que oferecem segurança ao agente financeiro de que tudo está testado e analisado.

O Seminário da Abcic contou com a participação de 200 pessoas, entre lideranças setoriais, empresários, engenheiros, arquitetos, técnicos, professores e pesquisadores. Dele participaram o presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, que compôs a mesa de abertura, sua di-

retora técnica, Enga. Inês Battagin, e seu diretor de publicações técnicas, Eng. Eduardo Barros Millen.

COMITÊ TÉCNICO IBRACON/ABCIC

Na abertura do Seminário ABCIC foi anunciada a criação do Comitê Técnico 304 IBRACON/ABCIC de Pré-Moldados de Concreto. O objetivo do CT 304 é contribuir para o desenvolvimento técnico e tecnológico do pré-fabricado de concreto e para a difusão do conhecimento acerca de seus benefícios e aplicações.

Na ocasião, Inês Laranjeira da Silva Battagin, diretora técnica do IBRACON e superintendentes do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/CB-18), informou que o primeiro trabalho a ser desenvolvido pelo CT 304 será a elaboração de práticas recomenda-

das da ABNT NBR 9062, comentando seus itens mais importantes. “O lançamento desse novo Comitê Técnico, bem como a elaboração de práticas recomendadas por seus membros, objetiva que mercado tenha instrumentos de trabalho para desenvolver suas obras com bastante eficiência e cuidado, e que possamos avançar na área de normas técnicas com maior celeridade”, afirmou.

“Esta primeira ação do CT 304 será conjunta das entidades ABCIC, ABECE e IBRACON”, complementou Íria, para enfatizar que “além desta ação, a ABCIC possui outros trabalhos a serem desenvolvidos posteriormente no âmbito deste comitê, como, por exemplo, os manuais de procedimentos dos laboratórios instalados nas indústrias, entre outras”. O Presidente do IBRACON, Júlio Timerman, que comentou que tem sido nítido o esforço da Abcic em promover a integração das entidades representativas das estruturas de concreto, parabenizando a entidade “por nos tempos atuais estar com o evento lotado e uma seleta plateia”.

A reunião de instalação do CT 304 será realizada no 59º Congresso Brasileiro do Concreto, evento técnico-científico promovido pelo IBRACON, que vai acontecer de 31 de outubro a 3 de novembro, em Bento Gonçalves. 📍

Muito além do controle tecnológico convencional do concreto

ARNALDO FORTI BATTAGIN • ANA LÍVIA ZEITUNE DE P. SILVEIRA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP)

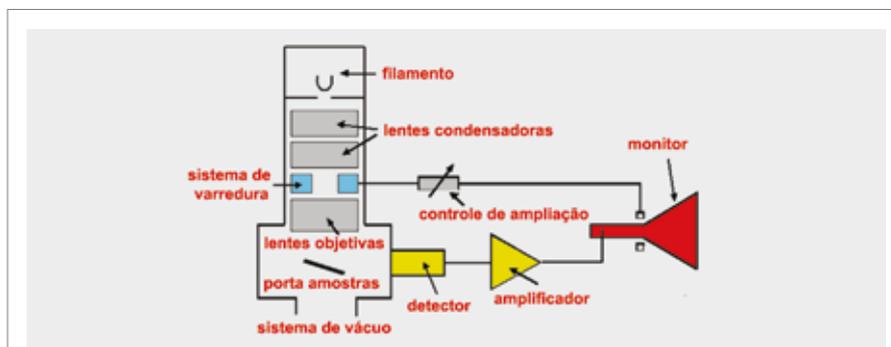
Quando se estuda a microestrutura do concreto endurecido a partir de um testemunho extraído de uma estrutura ou peça estrutural, muitas informações podem ser conhecidas, como, por exemplo, a presença de fissuras e microfissuras, a identificação de compostos correntes de hidratação da pasta de cimento, neocompostos formados originados de reações deletérias, cujos principais são os ligados à reação álcali-agregado, ao ataque por sulfatos, dentre outros. Portanto, pode-se fazer diagnósticos quanto à qualidade ou comportamento do concreto de determinada estrutura e sua interação com o ambiente, e avaliar se a relação a/c foi elevada, a compacidade do concreto, a presença de vazios, etc.

São várias as técnicas aplicadas no Laboratório de Microestrutura da ABCP para estudo da microestrutura do concreto, destacando as análises petrográficas por microscopias ótica e estereoscópica, a microscopia eletrônica de varredura, sempre em conjunto com outras técnicas, como a difratometria de raios X, análises químicas por espectrometria de raios X, análises termodiferencial e termogravimétrica, etc. Todas essas técnicas analíticas se complementam e fornecem subsídios para que um profissional experiente possa fazer a correta interpretação das implicações ligadas à microestrutura do concreto. Muito se questiona se um estudo da microestrutura poderia fornecer informações ligadas às

propriedades do concreto no estado fresco, como o abatimento do concreto, por exemplo. A resposta é sim e não, pois embora não seja possível fornecer o valor quantitativo do abatimento, indiretamente pode se chegar a características que dele decorrem. Constitui exemplo clássico o fato da pasta de cimento ficar mais clara com relação a/c mais alta, em oposição a uma pasta mais escura, típica de relação a/c mais baixa. A própria morfologia dos agregados também constitui indicação, pois agregados mais arredondados requerem menor quantidade de água do que agregados alongados e lamelares. Ao contrário, a segregação pode indicar uma consistência mais fluida, assim como certa orientação dos agregados no concreto endurecido pode indicar exsudação, com superfície enriquecida em pasta de cimento.

Neste artigo dá-se ênfase à microscopia eletrônica de varredura (MEV) com uso do EDS, da sigla em inglês para *Energy Dispersive Spectroscopy* (Espectroscopia por dispersão em energia).

Em linhas gerais, a análise por MEV conduz ao reconhecimento das feições microestruturais e especialmente a distribuição e morfologia das fases, ao



► **Figura 1**
Esquema simplificado de microscópio eletrônico de varredura

passo que o EDS permite identificar a composição química, apontando elementos químicos na área na qual se encontra o composto mineralógico, tornando possível seu diagnóstico.

ENTENDENDO A TÉCNICA DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

O microscópio eletrônico de varredura utiliza um feixe de elétrons, diferentemente dos fótons, isto é, radiação de luz, utilizados no microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução ligado à profundidade de campo nas altas ampliações. A imagem, por sua vez, não é colorida por ser uma imagem eletrônica, ao contrário do microscópico óptico que permite observar imagens de distintas colorações e tonalidades.

O MEV convencional apresenta uma coluna óptico-eletrônica adaptada a uma câmara com porta-amostra aterrado, sistema eletrônico, detectores e sistema de vácuo (Figura 1).

Os princípios e passos básicos que envolvem o MEV são:

- ▶ Uma corrente de elétrons é formada por uma fonte de elétrons e acelerada em direção à amostra, usando um potencial elétrico positivo;
- ▶ Essa corrente é confinada e focalizada, usando aberturas de metal e lentes magnéticas, a um feixe monocromático fino e condensado;
- ▶ Esse feixe é focalizado em cima da amostra usando uma lente magnética;
- ▶ Interações ocorrem dentro da amostra irradiada, afetando o feixe de elétrons – essas interações e efeitos são detectados e transformados em uma imagem.

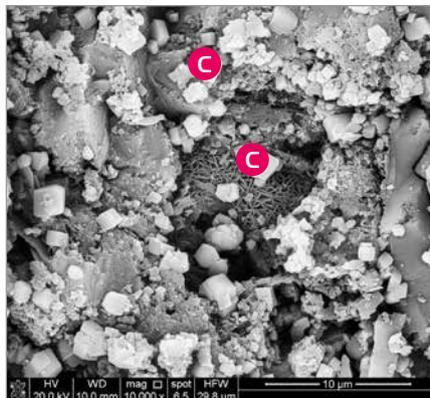


FOTO 1
Aspecto ao microscópio eletrônico dos cristais de carbonato de cálcio (C), oriundos da carbonatação do concreto – aumento de 10.000x – Elétrons Secundários. Os cristais de carbonato de cálcio são romboédricos, muito bem formados e disseminados pelo concreto.

Pelas análises no MEV podem ser obtidas as seguintes informações:

- ▶ **Topografia:** superfície da amostra e sua textura, isto é, os aspectos ligados às propriedades do material (dureza, refletância, etc);
- ▶ **Morfologia:** a forma e o tamanho das fases que formam a amostra, isto é, a estrutura e as propriedades do material (ductibilidade, resistência, reatividade);
- ▶ **Composição:** os elementos e compostos da amostra e as quantidades relativas deles, relacionadas diretamente com a composição e propriedades dos materiais (ponto de fusão, reatividade, dureza, etc); e
- ▶ **Informação cristalográfica:** a maneira como os átomos estão ordenados na amostra – existe uma relação direta entre essa ordenação e as propriedades do material (conductibilidade, propriedades elétricas, resistência, etc).

A técnica de MEV permite trabalhar com amostras espessas, de alta resolução (30Å), grande profundidade de foco (300 vezes melhor do

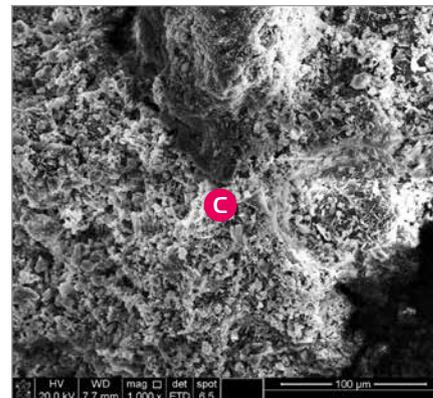


FOTO 2
Aspecto ao microscópio eletrônico da baixa coesão da argamassa (C) – aumento de 1.000x – Elétrons Secundários. Esse aspecto da microestrutura do concreto resultando em argamassa menos coesa indica traço pobre em cimento (pouca pasta).

que o microscópio ótico) e imagens tridimensionais.

Os principais detectores para análise no MEV são: os de elétrons secundários (SE), os de elétrons retroespalhados (BSE) e os de Raios X.

Elétrons secundários (SE)

São os responsáveis pela formação da imagem tridimensional e informações topológicas da superfície da amostra. Nesse tipo de análise a amostra ideal é de superfície de fratura, principalmente para a identificação da morfologia dos produtos investigados (Fotos 1 e 2).

Elétrons retroespalhados (BSE)

A análise é feita principalmente em superfícies polidas, para assim facilitar as identificações de fases da amostra. Essa forma de análise permite investigar as diferentes fases presentes nas amostras, através de seus tons de cinza, conforme o número atômico médio dessas fases. Quanto maior for o número atômico

médio, mais branco aparece o produto na imagem.

Raios X (EDS)

Os Raios X são utilizados para identificar e quantificar elementos químicos presentes em determinada amostra. São utilizados nas técnicas

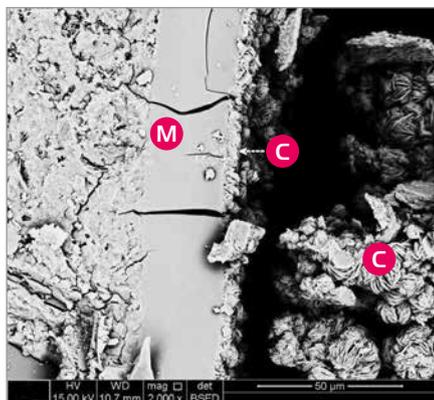


FOTO 3

Aspecto ao microscópio eletrônico dos produtos cristalizados (C) a partir do gel maciço (M) no poro – aumento de 2.000x – Elétrons Retroespalhados. Trata-se de gel maciço, típico da reação álcali-agregado, a partir do qual se desenvolveram produtos cristalizados. Essa é uma indicação da reação dos álcalis solubilizados contidos nos poros com os agregados, sendo responsável pelas manifestações patológicas.

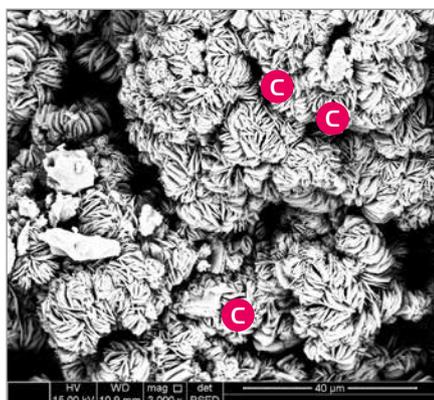


FOTO 4

Detalhe ao microscópio eletrônico dos produtos cristalizados da RAA (C) – aumento de 3.000x – MEV – Elétrons Retroespalhados. Muitas vezes o gel expansivo da RAA se cristaliza, resultando em fases cristalizadas, como essas rosáceas que são vistas nessa foto, apresentando a mesma composição do gel.

de espectrometria e difratometria de raios X e em MEV. No MEV, os raios X são detectados por sistemas acoplados de EDS e/ou WDS, que são acessórios do MEV, que além da imagem, permitem diagnosticar o elemento químico presente na partícula investigada. Nas pesquisas realizadas na ABCP, utiliza-se o EDS, que detecta Raios X através da medição da energia característica de cada elemento químico, permitindo sua identificação nos produtos observados. Essa técnica é conhecida como microanálise.

Atualmente alguns centros de pesquisas brasileiros já utilizam MEVs de última geração, com o chamado *Field Emission Gun* (FEG). Sua principal vantagem é a melhor resolução. A ABCP também utiliza esses microscópios FEGs quando uma melhor resolução é necessária.

Uma etapa importante diz respeito à preparação da amostra. Essa precisa ser montada de modo adequado no suporte do porta-amostra do MEV, ajustando-se a melhor orientação em relação ao feixe de elétrons e ao coletor. Para fixação da amostra no porta-amostra vários tipos de cola podem ser usados, como, por exemplo, cola de prata coloidal, fitas adesivas, colas poliméricas, mas na ABCP se opta por utilizar cola à base de carbono.

Feita a montagem o próximo passo é a metalização da amostra, com o objetivo de aumentar a condutividade elétrica da sua superfície pela deposição de fina camada de ouro ou carbono, pois o concreto apresenta baixa condutividade elétrica.

O processo mais eficiente de deposição é a utilização de um equipamento chamado de metalizador, que

consiste de um sistema de evaporação que remove o ouro de um eletrodo maciço por bombardeamento com íons pesados de argônio e o deposita sobre todas as reentrâncias e proeminências da superfície da amostra. Embora seja possível usar evaporação térmica em alto

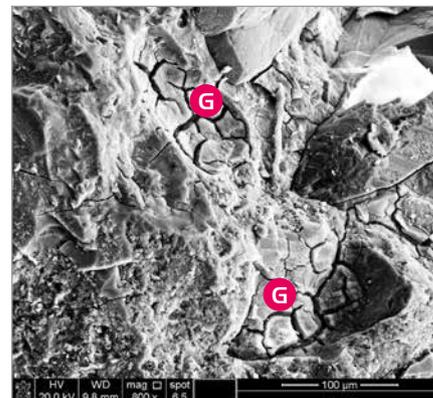


FOTO 5

Aspecto ao microscópio eletrônico do produto da RAA em forma maciça (G) na argamassa – Gel típico da RAA - aumento de 800x – Elétrons Secundários. O gel decorrente da RAA, que preferencialmente se deposita nos poros e vazios, neste caso retratado, está disseminado por toda a argamassa, indicando uma situação generalizada de RAA, favorecida pela presença de umidade, agregado reativo e disponibilidade de álcalis.

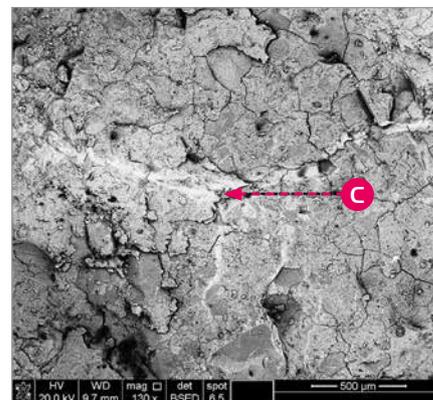


FOTO 6

Aspecto ao microscópio eletrônico do concreto, onde se observam microfissuras – aumento de 130x – MEV – Elétrons Retroespalhados. Essas microfissuras do concreto que foram parcialmente preenchidas por produtos de corrosão (C) das armaduras, constituídos por hidróxidos e óxidos hidratados de ferro.

vácuo, esse sistema de *sputtering* é mais eficiente. Além de ouro, alguns materiais podem necessitar de uma cobertura adicional com carbono, obtida no evaporador convencional de alto vácuo. Após a metalização, a

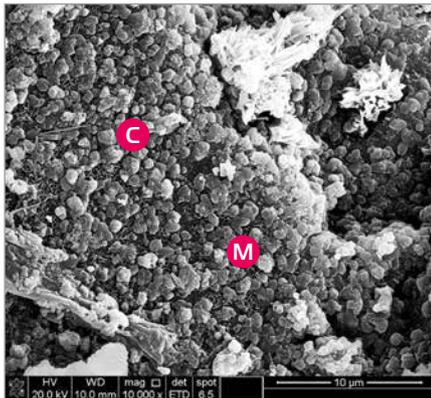


FOTO 7
Aspecto ao microscópio eletrônico do concreto, em se observam pequenos cristais cúbicos (C) sobre material cristalizado (M) na argamassa. Esses produtos foram identificados como: cloreto de cálcio, de carbonato de cálcio e sulfato de cálcio – aumento de 10.000x – MEV – Elétrons Secundários. Caso de concreto no qual foi utilizado indevidamente como adição material particulado do processo de dessulfuração de gases FGD, contendo sulfetos e cloretos. A cristalização de cloretos de cálcio hidratado, carbonato de cálcio e sulfatos de cálcio levou a microfissuração do concreto e há potencial para corrosão das armaduras.

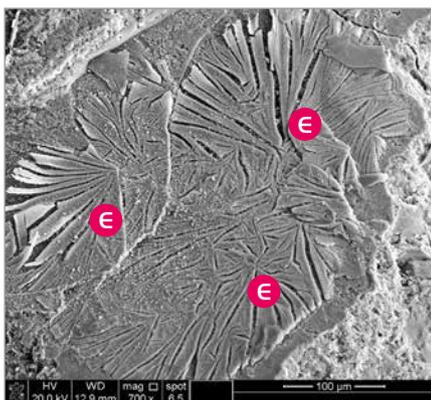


FOTO 8
Aspecto ao microscópio eletrônico da etringita compactada (E) na argamassa – aumento de 700x – MEV – Elétrons Retroespalhados. A feição é generalizada no concreto com formação de etringita tardia, mostrando ataque interno do concreto por sulfatos.

amostra está pronta para ser examinada no MEV.

ENTENDENDO A MICROESTRUTURA DO CONCRETO

O concreto endurecido é um material relativamente heterogêneo, formado pela pasta e os agregados graúdos e miúdos, com presença de vazios e poros.

Os agregados geralmente são constituídos por vários minerais ou componentes mineralógicos, imprimindo sua característica polifásica. Esses são geralmente inertes, mas pode ocorrer que alguns tipos litológicos sejam reativos com álcalis, gerando expansão pela formação de gel e causando fissuração do concreto (Fotos 3 a 5). Os agregados podem também conter componentes deletérios, como sulfetos, sulfatos e cloretos (Fotos 6 e 7), que podem ser identificados numa análise por MEV, com adoção da técnica BSE ou ainda por técnicas complementares, como microscopia ótica, por exemplo. A foto 8 exemplifica um caso de concreto no qual foi utilizado agregado miúdo contendo sulfatos e proveniente de região litorânea no Nordeste, onde a aplicação do MEV mostrou-se eficaz no reconhecimento da etringita tardia.

A pasta de cimento hidratada é o elemento que une um agregado ao outro e apresenta uma diferenciação quando se aproxima da região do agregado graúdo, região denominada de zona de transição, um ponto natural de vulnerabilidade e constituído por cristais orientados de portlandita. Essa zona de transição varia de 10 a 50 nm e o uso de adições, como materiais pozolânicos, escórias de alto forno, sílica ativa, etc.,

resulta numa desejável diminuição. Por essa razão, novas tecnologias de desenvolvimento do concreto adotam o estudo de sua microestrutura como uma das suas ferramentas, pois esse permite uma caracterização detalhada de cada constituinte, sua distribuição e sua inter-relação com os demais constituintes. Mecanismos responsáveis pela resistência mecânica, estabilidade

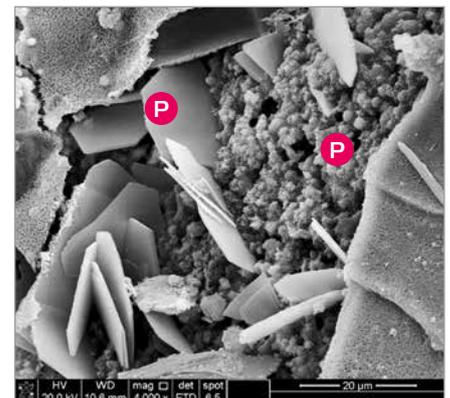


FOTO 9
Aspecto ao microscópio eletrônico dos produtos de hidratação do cimento (P) – aumento de 4000x – Elétrons Secundários. Foto que mostra o concreto apresentando os produtos correntes da hidratação da pasta de cimento, como a portlandita e C-S-H. A presença expressiva de portlandita é uma indicação de que o tipo de cimento utilizado apresenta ausência ou baixa frequência de escória e materiais pozolânicos.

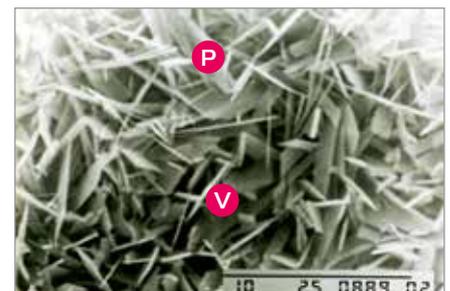


FOTO 10
Aspecto ao microscópio eletrônico dos produtos de hidratação do cimento – aumento de 4000x – Elétrons Secundários. Foto que mostra produto da hidratação bem cristalizado (tobermorita), em concreto celular autoclavado, com alta porosidade entre os cristais (V) e responsável pela baixa massa específica do material.

dimensional e resistência química podem ser identificados, permitindo que se atue de maneira a melhorar o desempenho dos concretos.

Com relação à pasta verifica-se que é constituída pelos compostos resultantes da hidratação do cimento Portland com a água, gerando compostos hidratados, como os silicatos hidratados C-S-H, geralmente fibrosos, hidróxido de cálcio (portlandita),



FOTO II
Aspecto ao microscópio eletrônico de cristais aciculares (E) em vazios no concreto – aumento de 4.000x – Elétrons Secundários. As acículas são constituídas de etringita, de origem primária, em oposição à etringita compactada (DEF), mostrada na foto 8.

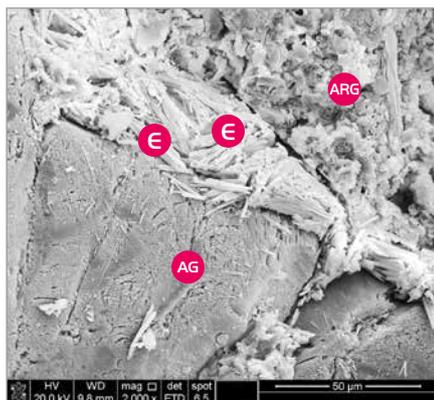


FOTO I2
Aspecto ao microscópio eletrônico do concreto, em que se observa o contato agregado graúdo com a argamassa – aumento de 2.000x – MEV – Elétrons Secundários. Observa-se a presença de etringita tardia (E) no contato do agregado graúdo (AG) com argamassa (ARG).

que cristaliza em placas hexagonais, e calcita, o carbonato de cálcio, resultante da carbonatação da portlandita. Em concreto celular autoclavado as condições ambientais de temperatura e pressão favorecem a formação de C-S-H, bem cristalizado, correspondente à tobermorita (Fotos 9 a 11). Outros compostos típicos são os aluminatos e ferroaluminatos cálcicos hidratados e etringita (trisulfoaluminato cálcico), na forma de acículas, que depois migram para a forma mais estável (monossulfoaluminato cálcico), resultante da reação dos aluminatos com o regulador de pega. Essas fases, por não terem proporção estequiométrica definida, são conhecidas na química do cimento como AF_t e AF_m . Qualquer outra fase pode ser considerada anômala ao processo de hidratação do cimento e pode indicar um potencial para o aparecimento de manifestações patológicas, como o composto etringita tardia, mostrado nas fotos 12 a 14, que indica um ataque interino por sulfatos.

A porosidade é outra feição importante da microestrutura do concreto. Ela é constituída pelos poros capilares, resultantes da migração da água de amassamento, e pelos poros dos produtos de hidratação, dos quais o C-S-H é o predominante, esses últimos chamados poros de gel.

Além disso, existem os vazios ligados ao adensamento do concreto, os chamados macroporos, de forma irregular, e eventualmente poros não interligados, de formato esférico, resultantes da incorporação de ar, intencional ou não (Foto 15).

Os poros capilares são interligados, se situam entre as fases hidratadas e são responsáveis pelos mecanismos

de transporte das fases líquidas e gasosas, com impacto direto na permeabilidade do concreto, migração de íons agressivos e, portanto, na durabilidade. A porosidade de gel sempre aumenta com o passar do tempo até determinado valor, ao passo que a porosidade capilar tende a diminuir.

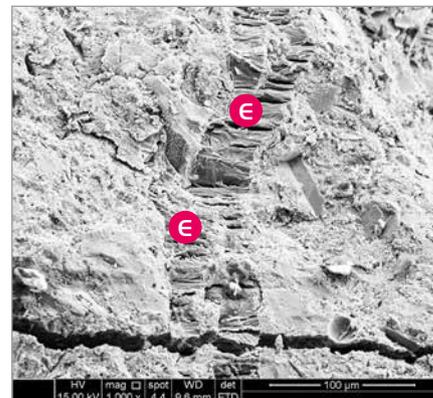


FOTO I3
Aspecto ao microscópio eletrônico da etringita compactada (E), preenchendo fratura na argamassa – aumento de 1.000x – Elétrons Secundários. A microfissura com abertura aproximada de 40 µm foi totalmente preenchida por etringita compactada (DEF). A microfissura foi um local preferencial de deposição e pode aumentar com a progressão do tempo por continuidade da cristalização e expansão da etringita.

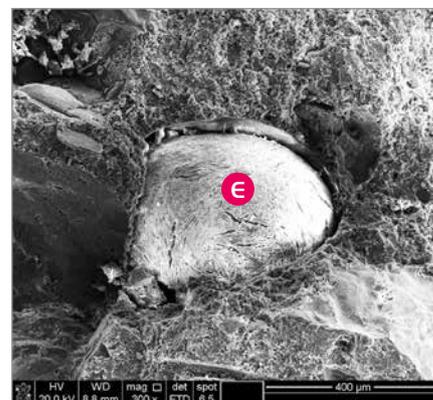


FOTO I4
Aspecto ao microscópio eletrônico da etringita compactada (E) – aumento de 300x – Elétrons Secundários. O poro está preenchido por etringita compactada, feição indicativa de que se trata provavelmente de DEF (*delayed ettringite formation*), que se diferencia da etringita primária ou secundária pela ausência de acículas típicas.

FEIÇÕES MICROESTRUTURAIS DO CONCRETO E SUA INTERPRETAÇÃO

Embora a interpretação das feições microestruturais tenha sido introduzida já no item anterior, é necessário enfatizar que a técnica da microscopia eletrônica de varredura é uma extensão dos olhos do observador, que lhe permite observar detalhes por meio de ampliação de até 300.000 vezes, impossíveis de serem vistos a olho nu. Por isso, o

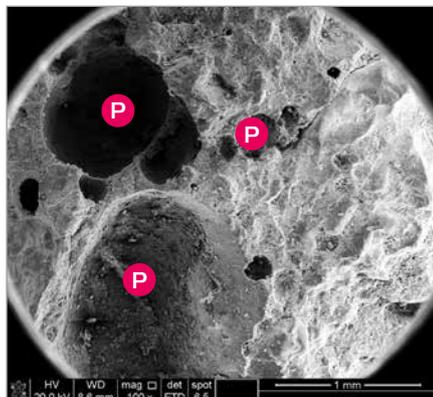


FOTO 15
Aspecto ao microscópio eletrônico da grande porosidade do concreto (P) – aumento de 100x – Elétrons Secundários. Presença expressiva de vazios decorrentes de problemas de adensamento, por vibração insuficiente, por exemplo, e que pode resultar em resistência do concreto abaixo da projetada.



FOTO 16
Aspecto geral do concreto. Observa-se vazio preenchido por etringita (E). Lupa estereoscópica, aumento 16x. As acículas de etringita estão bem cristalizadas e desenvolvidas, permitindo quase a sua visualização a olho nu.

analista deve ser experiente e competente o suficiente para proceder a uma amostragem representativa para detectar determinadas feições que são decorrentes das características do concreto e associá-las a condições de preparação do concreto, a manifestações patológicas, a propriedades especiais, etc.

Numa fase anterior à análise por MEV propriamente dita, é importante que, no momento da separação dos fragmentos que serão submetidos ao microscópio eletrônico de varredura, a estereoscopia e a análise óptica (Fotos 16 a 18) possam subsidiar a adoção de bons critérios de seleção desses fragmentos, além do conhecimento preliminar de eventual problema ou característica do concreto em condições de campo, pois, as análises no MEV são pontuais. Assim, uma manifestação patológica por ataque químico ou problemas ligados à má execução ou ao traço do concreto, por exemplo, podem ser diagnosticados com maior precisão. Por outro lado, são vários os casos estudados na ABCP nos quais os problemas de fissuração tinham sido atribuídos a outras causas, como, por exemplo, recalque de fundações, mas cujos diagnósticos em laboratório mostraram ser devidos à reação álcali-agregado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da microestrutura do concreto, em particular o uso da microscopia eletrônica de varredura, constitui importante ferramenta para entender o comportamento do concreto frente ao seu processo de preparação, composição e interação com as condições ambientais de exposição da estrutura. Permite prevenir ou diagnosticar ou, ainda, confirmar diagnósticos de campo,

apontando as causas de manifestações patológicas, bem como a identificação de características ligadas à durabilidade do concreto.

Finalmente, o estudo da microestrutura vem sendo aplicado de maneira crescente no desenvolvimento de inovações tecnológicas no campo do concreto, de maneira abrangente, das quais são exemplos o concreto translúcido, o concreto com nanotubos de carbono, o concreto autolimpante, o concreto autocicatrizante, o concreto têxtil, entre outros. ➡

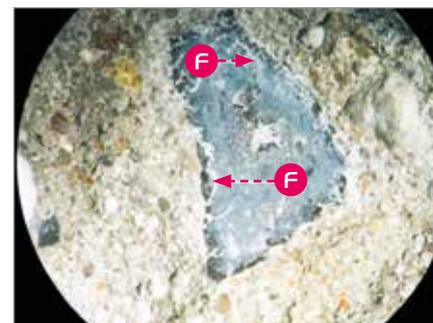


FOTO 17
Aspecto geral do concreto. Observa-se agregado graúdo fissurado (F) pela RAA. Lupa estereoscópica, aumento 14x. Caso de concreto onde a estereoscopia mostra melhor resolução para evidenciar bordas de reação e fissuração do agregado graúdo, ocasionado pela expansão do gel da RAA



FOTO 18
Aspecto geral do concreto. Observa-se o gel (G) da RAA envolvendo o agregado graúdo fissurado. Lupa estereoscópica, aumento 16x. Outro caso de concreto onde a estereoscopia mostra melhor resolução que o MEV para um aspecto mais geral do gel da RAA sobre o agregado e disseminado na argamassa.

Ensino de Engenharia Civil no Canadá: da formação à atuação profissional

GUILHERME PARSEKIAN

UFSCAR

ALEXANDRE DE BARROS

UNIVERSIDADE DE CALGARY

Este artigo procura relatar um pouco da experiência em ensino de engenharia civil no Canadá, em especial na Universidade de Calgary, a partir da vivência do primeiro autor como professor visitante e do segundo autor como professor da universidade canadense há mais de uma década. Contempla o processo de entrada na universidade, que pode ocorrer tanto a partir da graduação no ensino médio quanto a partir da graduação em ensino tecnológico, com aproveitamento de parte dos créditos. Discute inserção do aluno na graduação, mostrando suas possibilidades de estudo em diferentes áreas, subáreas e disciplinas. Apresenta o processo de credenciamento na associação de classe, primeiramente como engenheiro em treinamento para, em seguida obter o título de engenheiro profissional, mediante o cumprimento de diversos requisitos de educação continuada e de renovação de atribuições.

I. ORGANIZAÇÃO DA UNIVERSIDADE

A Universidade de Calgary é pública, não visa lucro ou possui um dono. É mantida parcialmente com recursos do Governo da Província de Alberta e conta com muitas doações do setor privado, além de possuir várias parcerias em projetos de pesquisa com recursos de empresas.

A universidade não é gratuita - os alunos devem pagar uma anuidade em torno de 7.000 dólares canadenses.

Quanto à gestão, existe um Conselho Diretor da universidade, cujos membros são nomeados pelo governo de Alberta. Esse conselho é formado por pessoas de fora da universidade. O presidente da universidade é escolhido por esse conselho, podendo ou não ser um professor da universidade. Esse presidente escolhe o reitor, que escolhe os diretores das faculdades, que escolhem os chefes de departamento. Em cada um desses níveis, o processo de escolha leva em conta a experiência dos docentes, sendo que o professor interessado deve se candidatar ao cargo, usualmente após vários anos de experiência.

A universidade tem autonomia total, tanto acadêmica quanto financeira.

Os cursos de Engenharia passam, a cada cinco anos, por um processo de acreditação realizado por um conselho externo. Os membros desse conselho são docentes de outras universidades e profissionais das associações de engenharia, que verificam o curso, currículo, ementas, etc. Essa não é uma obrigação legal, mas usual e necessária para que potenciais alunos tenham interesse nos cursos oferecidos.

2. FORMA DE INGRESSO NO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

O ingresso é realizado inicialmente no primeiro ano de engenharia, que é comum a todos os programas. Somente após a conclusão do primeiro ano é que o aluno opta por uma das áreas de estudo ("major"), entre as quais a Engenharia Civil.

A principal forma de ingresso é através de processo seletivo de alunos provenientes do ensino médio. São levados em conta as notas dos alunos obtidas nas disciplinas de Inglês, Química, Física, Matemática Pura e Cálculo. O valor médio da nota de corte para aprovação varia de acordo com a demanda. Na Universidade de Calgary, a média recente está em torno de 89% de aproveitamento em relação à nota máxima das disciplinas.

Existem, porém, outras duas formas de admissão: para alunos internacionais e para transferência de outra instituição de terceiro grau, incluindo cursos tecnológicos.

A presença de estudantes estrangeiros é incentivada, sendo meta da universidade ter até 10% desses alunos nos cursos na Escola de Engenharia. A admissão é feita através de análise de currículo e histórico escolar.

Existem também acordos de intercâmbio com universidades de outros países, permitindo tanto que alunos de outros países realizem um período letivo



na universidade como que alunos de Calgary o façam em outras universidades.

No que diz respeito à transferência de outra instituição, é possível, por exemplo, ingressar no curso de engenharia da Universidade de Calgary após ter se formado no curso de Tecnologia em Engenharia Civil, ministrado em dois anos no “*Southern Alberta Institute of Technology*”, que fica na mesma cidade, aproveitando uma parte dos créditos. O critério para admissão no curso de engenharia é a média das notas obtidas no curso de tecnologia.

3. CURRÍCULO E OPÇÕES DO CURSO

A Escola de Engenharia da Universidade de Calgary tem o nome “*Schulich School of Engineering*” desde 2005, em homenagem ao filantropo Seymour Schulich, que doou 25 milhões de dólares canadenses à instituição.

Todos os alunos do 1º ano de engenharia têm um currículo comum contemplando disciplinas de cálculo, estática, computação, circuitos elétricos e máquinas, química e mecânica dos fluidos, conforme Tabela 1.

Após o primeiro ano o aluno escolhe uma grande área de estudo (“major”) dentro da engenharia, entre elas Engenharia Civil. O critério para seleção é a maior média obtida nas disciplinas.

Dentro do curso de engenharia civil, os alunos estudam disciplinas gerais sobre propriedades dos materiais, gestão de projeto e engenharia ambiental. O curso é completado usualmente em quatro anos e o aluno deve fazer um projeto aplicado no último ano. Também é incentivado a estudar um ou dois semestres fora, em uma das instituições parceiras na Europa, Hong Kong ou Austrália.

O aluno pode escolher ainda uma área de especialização (“minor”) entre as áreas de Transporte, Estruturas, Empreendedorismo e Empreendimen-

► Tabela 1 – Disciplinas do 1º ano de Engenharia

MATH 275 - Calculus for Engineers and Scientists (formerly AMAT 217)	MATH 277 - Multivariable Calculus for Engineers (formerly AMAT 219)
ENGG 200 - Design and Communication	ENGG 225 - Fundamentals of Electrical Circuits and Machines
MATH 211 - Linear Methods I	ENGG 202 - Engineering Statics
ENGG 233 - Computing for Engineers	PHYS 259 - Electricity and Magnetism
CHEM 209 - General Chemistry for Engineers	ENGG 201 - Behaviour of Liquids, Gases and Solids
Complementary Studies course (optional)	
Fonte: University of Calgary (2017)	

tos, e Gestão e Sociedade. Pode ainda escolher especializações interdisciplinares, como Especialização em Engenharia Biomédica ou Especialização em Energia e Ambiente.

As disciplinas têm caráter teórico, porém procuram mostrar aplicações práticas e permitir aos alunos uma experiência aplicada e integrada. Por exemplo, na disciplina de Engenharia de Estruturas I são contemplados tópicos de análise es-

trutural, sistemas estruturais e conceitos de projeto de estruturas, e também princípios básicos de projeto de elementos em aço, concreto e alvenaria armados e não armados, e madeira. Em todas as ofertas são realizados ensaios de elementos em aço, concreto, alvenaria e madeira, como forma de mostrar na prática aos alunos os conceitos teóricos. Como exemplo, no caso de concreto armado, são ensaiadas vigas biapoiadas em duas



► Figura 1
Ensaio de viga de concreto armado para disciplina de graduação



► **Figura 2**
Viga ensaiada na disciplina: sem estribo, ruptura por cisalhamento

configurações de armadura, com e sem estribo, de maneira a mostrar as formas de ruptura, deformações e comportamento desses elementos. A turma é dividida em grupos menores e os ensaios realizados repetitivamente para cada grupo, não havendo economia de esforço na tentativa de fornecer experiência e

conhecimento prático aos alunos. As Figuras 1 a 3 mostram alguns dos ensaios em laboratório da disciplina.

As outras disciplinas também têm esse caráter e contemplam atividades de laboratório ou campo. Reprovações de alunos na graduação ocorrem, mas não são frequentes, havendo uma grande



► **Figura 3**
Viga ensaiada na disciplina: com estribo, ruptura por flexão

busca por alternativas quando é verificado um índice grande de reprovação em determinada disciplina. Os professores são avaliados e ranqueados pela Associação dos Estudantes da escola.

O lema do Departamento de Engenharia Civil é atingir excelência no Ensino e na Pesquisa, havendo grande dedicação para atingir ambos objetivos.

O aluno se forma após cursar todas as matérias exigidas para conclusão do curso – em torno de 42 matérias no total. A grande maioria das matérias é prescrita pelo Departamento de Engenharia Civil, com um pequeno número de matérias opcionais no quarto ano. A nota mínima para aprovação em cada matéria é D, mas a “*Schulich School of Engineering*” exige que a média anual de todas as matérias cursadas seja o equivalente a C. Essa média é calculada usando-se o sistema de *grade point average*, que converte a nota final para um número entre 0 e 4 – como exemplos, F corresponde a 0, C corresponde a 2 e A corresponde a 4.

Um fato interessante é que todo aluno que se forma em engenharia no Canadá recebe um anel de ferro ou aço. É uma tradição que ocorre há quase cem anos, sendo a explicação de sua origem alegada ao colapso de uma ponte em Quebec em 1907. Nesse acidente, vários operários morreram e a causa mais provável foi por conta de um erro do projeto de engenharia. Esse é, portanto, um símbolo que representa ao mesmo tempo o orgulho de ser engenheiro e um lembrete das responsabilidades e obrigações éticas da profissão, e da necessária humildade que se deve ter nas tomadas de decisão durante o exercício profissional.

4. CREDENCIAMENTO NA ASSOCIAÇÃO DE CLASSE E ATUAÇÃO APÓS FORMATURA

Logo após a formatura, o engenheiro



pode registrar-se como membro de uma associação de classe e se intitular Engenheiro. Na província de Alberta, a associação é a APEGA – “Association of Professional Engineers and Geoscientists of Alberta”. Informações sobre o processo estão disponíveis em “The Association of Professional Engineers and Geoscientists of Alberta” (2017), referência na qual este texto se baseia.

O processo de credenciamento ocorre ao longo dos anos. Inicialmente o recém-formado é definido na categoria Engenheiro em Treinamento, bastando para tal o diploma de graduação e uma declaração de bom caráter e reputação (pessoas com antecedentes criminais, histórico de má conduta profissional ou que tenham cometido alguma falta frente ao código de ética da associação precisam explicar as circunstâncias). Nessa categoria, o engenheiro deve sempre trabalhar sob a supervisão de um Engenheiro Profissional. A atribuição inicial é válida por seis anos, podendo ser estendida até oito anos.

Apenas após quatro anos de atuação como engenheiro é possível se aplicar para mudar para classe Engenheiro Profissional. Nesse caso é necessário ter quatro anos de experiência profissional, atestada por pelo menos três cartas de referência, boa reputação e caráter e passar no Exame Nacional de Exercício Profissional. O exame versa sobre práticas profissionais, leis e ética, consistindo de 110 questões de múltipla escolha, a serem respondidas dentro de 2,5 horas, em sete áreas específicas, devendo o

candidato acertar pelo menos 65 questões. Não é um exame sobre conhecimentos específicos de engenharia e sim de atuação e postura profissional.

Existem ainda categorias específicas como de Licença Profissional, para aqueles que têm formação em determinado escopo e não em engenharia completa, e uma licença profissional para profissionais não canadenses, com regras específicas.

Tanto o Engenheiro Profissional quanto o portador de Licença devem participar do Programa de Educação Continuada. A cada três anos, o profissional deve realizar 240 horas de desenvolvimento profissional, sob o risco de cancelamento de sua titulação caso não o faça. Essas horas podem ser divididas entre seis categorias:

- ▶ prática profissional, limitada a 50 horas de desenvolvimento profissional/ano, sendo cada 15 horas de trabalho equivalente a uma hora de desenvolvimento profissional;
- ▶ atividade formal, como cursos, seminários oferecidos por universidades, fornecedores, empregadores ou associações, sendo uma hora de curso equivalente a uma hora de desenvolvimento profissional, limitada ao máximo de 30 horas de desenvolvimento profissional por ano;
- ▶ as outras quatro categorias incluem indicações semelhantes, contemplando atividades informais, como participação em feiras e reuniões; atividades de mentor de um engenheiro em treinamento, participação

em entidades de classe, atividades para a comunidade; apresentações em congressos, seminários e outros; contribuição ao conhecimento, como participação em comitês de norma, publicação de artigos, livros e outros, obtenção de patente, graduação em mestrado ou doutorado, revisão e edição de artigos e outros.

Os detalhes completos sobre o Programa de Desenvolvimento Profissional Continuada podem ser encontrados em “The Association of Professional Engineers and Geoscientists of Alberta” (2014).

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Em comparação à formação em engenharia no Brasil, percebe-se que o curso de graduação canadense contempla uma menor quantidade de disciplinas, que tendem a ser mais aplicadas. O aluno pode ainda escolher pela sua área de atuação de uma maneira ampla, inclusive podendo atuar em campos multidisciplinares. Após a formatura, existe um caminho de, no mínimo, quatro anos para esse ser considerado um profissional independente, sendo necessária contínua participação em atividades de desenvolvimento profissional para manter esse título. Ou seja, para exercer a profissão de engenheiro, além do diploma universitário, o profissional passa ainda por uma fase de treinamento até poder ser considerado engenheiro pleno, e mesmo depois precisa estar sempre comprovando sua atuação de forma ativa. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] The Association of Professional Engineers and Geoscientists of Alberta. Continuing Professional Development Program. Abril, 2014. Disponível em <https://www.apega.ca/assets/PDFs/cpd.pdf> (acesso em 03/04/2017).
- [02] The Association of Professional Engineers and Geoscientists of Alberta. Right to Practise & Title . Disponível em <https://www.apega.ca/rights> (acesso em 03/04/2017).
- [03] University of Calgary (2017). Schulich School of Engineering: First-Year Common Core. <http://schulich.ucalgary.ca/education/future-students/undergraduate/degree-programs-minors-and-specializations/first-year-common>. Disponível em <https://www.apega.ca/assets/PDFs/cpd.pdf> (acesso em 03/04/2017).

Aplicação de ensaios não destrutivos na caracterização de lajes alveolares pré-fabricadas

LUCAS MARRARA JULIANI – MESTRE EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

VLADIMIR GUILHERME HAACH – PROFESSOR DOUTOR

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

I. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a caracterização do concreto utilizado em elementos pré-fabricados é realizada por meio de ensaios padronizados no concreto fresco e endurecido, como o de abatimento do tronco de cone (ABNT NBR NM67:1998) e o de compressão em corpos de provas cilíndricos de concreto (ABNT NBR 5739:2007). Essa abordagem pode não ser a mais completa, pois esses ensaios são realizados em um pequeno número de exemplares do concreto aplicado nos elementos pré-fabricados e, em geral, os corpos de prova são submetidos a condições de adensamento e cura ligeiramente diferentes daquelas a que o elemento construído está submetido. No caso dos elementos pré-fabricados protendidos, a precisa caracterização da resistência à compressão do concreto tem um importante impacto dentro dos procedimentos de desfôrma e liberação da protensão.

Uma das principais vantagens dos ensaios não destrutivos (ENDs) é que não causam danos à amostra e, portanto, podem ser aplicados ao próprio elemento pré-fabricado e repetidos ao longo

do tempo. Nos ENDs as propriedades do concreto, como módulo de elasticidade e resistência à compressão, podem ser relacionadas com frequências de ressonância, propagação de ondas ultrassônicas, emissão de ondas eletromagnéticas e acústicas, dispersão de nêutrons, radiografias, entre outros. É possível, ainda, realizar esses ensaios em diversas regiões da estrutura, resultando em uma melhor determinação da sua condição e caracterização global.

Dentre os elementos pré-fabricados, os painéis alveolares se destacam por sua versatilidade na construção civil, podendo ser apoiados em elementos de concreto pré-fabricado ou moldado no local, alvenaria estrutural e estruturas metálicas. São muito empregados como elementos de laje e também de vedação lateral em edifícios residenciais, comerciais e industriais, além de tabuleiros de pontes. A produção dos painéis alveolares é normalmente feita pela técnica de vibro-compactação, utilizando equipamento de extrusão ou fôrmas deslizantes. De acordo com Catóia (2011), o concreto utilizado na máquina extrusora deve ser seco, com relação água/cimen-

to na ordem de 0,30 a 0,40, garantindo um concreto com elevada resistência à compressão e menor porosidade. De acordo com Mizumoto, Marin e Silva (2013), essas características muitas vezes dificultam a moldagem dos cilindros para o ensaio de compressão. Por outro lado, o concreto produzido utilizando fôrmas deslizantes possui fator água/cimento mais elevado, aumentando a trabalhabilidade do concreto, o que facilita no deslizamento da fôrma.

Dentro desse contexto, este trabalho apresenta a aplicação de dois tipos de ENDs, ultrassom e o método de excitação por impulso, no controle tecnológico do concreto aplicado na construção de lajes alveolares. Em ambos os métodos obtém-se o módulo de elasticidade dinâmico e correlaciona-se este com a resistência à compressão do concreto.

2. ENSAIO DO ULTRASSOM

O método do ultrassom é baseado na propagação de ondas mecânicas de tensão com frequência superior a 20 kHz. Essas ondas originam-se quando ocorre uma pressão ou deformação na superfície do sólido. O distúrbio gera ondas



que se propagam pelo sólido com velocidades que dependem dos módulos de elasticidade longitudinal (E) e transversal (G), coeficiente de Poisson (μ), densidade (ρ) e geometria do elemento analisado (ACI 228.2R-2013). A equação (1) apresenta a relação entre a velocidade de propagação de ondas longitudinais (V) com as propriedades elásticas de um material isotrópico.

$$V^2 = \left(\frac{E}{\rho} \right) \left(\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right) \quad [1]$$

O equipamento de ultrassom, basicamente, produz e introduz, através de um transdutor emissor, pulsos de ondas de compressão e/ou cisalhamento dentro do concreto. Um transdutor receptor recebe o pulso e mede o tempo que a onda levou para atravessar o elemento de concreto. O equipamento deve possuir um osciloscópio para registrar o pulso recebido.

O método de ensaio para a obtenção da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas é normalizado pela ABNT NBR 8802:2013, que apresenta como principais aplicações a verificação da homogeneidade do concreto, detecção de eventuais falhas internas e monitoramento de variações no concreto ao longo do tempo.

3. MÉTODO DE EXCITAÇÃO POR IMPULSO

As propriedades elásticas dinâmicas de um material qualquer podem ser obtidas, se conhecidas sua geometria, massa e frequências de ressonância. O módulo de elasticidade dinâmico está relacionado com os modos de vibração de uma determinada estrutura.

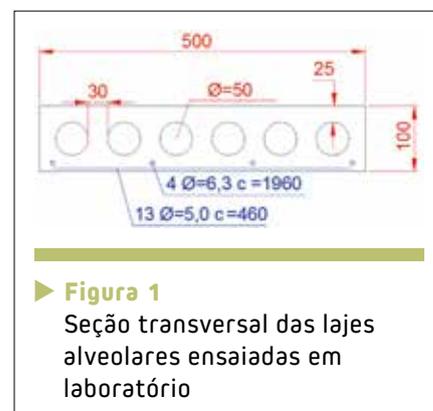
Para determinação da frequência de ressonância pode-se utilizar a técnica de excitação por impulso mecânico. Essa técnica de medição utiliza um transdutor

de contato acoplado (caso do acelerômetro, por exemplo) ou um transdutor sem contato, como, por exemplo, um microfone. Esse transdutor transforma as ondas mecânicas em sinais elétricos. Para qualquer um dos casos, deve-se utilizar um equipamento que detecte e analise as frequências de ressonância fundamental ou período da vibração com precisão.

As normas ASTM C215 (2014) e ASTM E1876 (2015) apresentam os procedimentos para realização deste tipo de ensaio em cilindros e prismas, bem como as equações que relacionam as frequências de vibração com o módulo de elasticidade dinâmico para estas geometrias.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste programa experimental, duas lajes alveolares com seção transversal conforme Figura 1 e com dimensões de 200 cm x 50 cm x 10 cm foram construídas no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos e ensaiadas por meio do ensaio de ultrassom e do método de excitação por impulso. Juntamente com as lajes, corpos de provas cilíndricos de concreto de 100 mm x 200 mm foram moldados com o mesmo concreto utilizado nas lajes e ensaiados à compressão, além dos ENDs. O concreto utilizado nos ensaios tinha o traço em

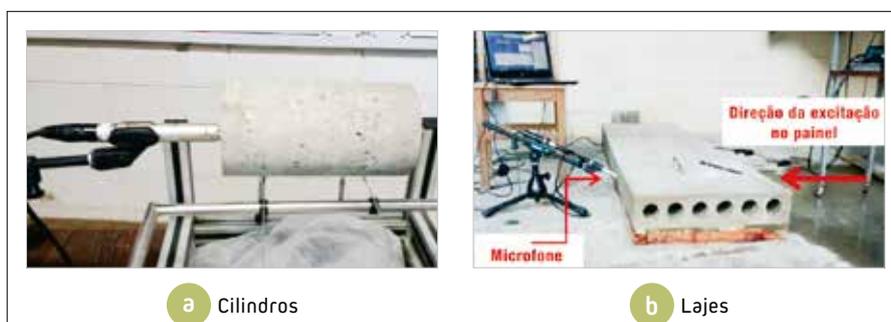


► **Figura 1**
Seção transversal das lajes alveolares ensaiadas em laboratório

massa de 1: 1,48: 2,02; 0,43 (cimento CPV-ARI: areia média: pedrisco: água), com 1% de superplastificante.

Para a realização dos ENDs demarcaram-se cinco seções na superfície superior das lajes e foram efetuadas de 5 a 6 medições dentro das primeiras 24 horas. Os CPs cilíndricos foram ensaiados nas mesmas idades das lajes e alguns desses CPs foram rompidos para a determinação da resistência à compressão. Para o ensaio do ultrassom foi utilizado o equipamento PUNDIT LAB+, da marca Proceq®, com transdutores de frequência de 54 kHz. Para o ensaio de excitação por impulso utilizou-se o equipamento Sonelastic® da ATCP Engenharia Física.

No ensaio dos CPs cilíndricos com o Sonelastic®, o apoio das amostras foi feito por meio de 2 fios de nylon conforme a Figura 2a. Já na laje alveolar, a excitação foi



► **Figura 2**
Ensaio de excitação por impulso utilizando o Sonelastic®



► **Figura 3**
Ensaio de ultrassom na laje alveolar

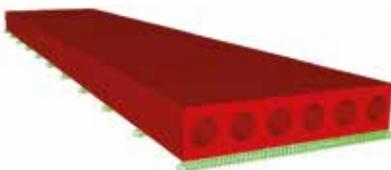
feita de maneira a captar o primeiro modo transversal da laje alveolar. O microfone foi posicionado próximo à capa superior, em um dos lados da laje, e a excitação efetuada, do outro lado, também próximo à capa superior, conforme a Figura 2b.

O ensaio de ultrassom foi realizado nos corpos de provas cilíndricos por meio de transmissão direta ao longo de seu comprimento. No caso das lajes, os transdutores foram posicionados com o objetivo de captar as velocidades das ondas ultrassônicas longitudinais passando pela capa superior da laje alveolar (Figura 3). Essa escolha foi tomada de maneira a não se ter a interferência dos alvéolos na propagação das ondas, já que diminuiria a velocidade do pulso ultrassônico.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Análise teórica

Para a análise e obtenção do módulo



► **Figura 4**
Malha de elementos finitos da laje alveolar

de elasticidade dinâmico através do método de excitação por impulso, é preciso levar em consideração algumas análises teóricas, já que o módulo dinâmico é obtido indiretamente, ou seja, o dado registrado no ensaio é a frequência de ressonância do elemento estudado. Para os corpos de prova de seção retangular e circular, o cálculo já é consagrado e está descrito nas normas ASTM C215 (2014) e ASTM E1876 (2015). O cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (E) para seções circulares a partir da 1ª frequência de vibração do modo longitudinal (f) é feito pela equação (2), onde m é a massa do corpo de prova, L o comprimento e d o diâmetro.

$$E = 5.093 \left(\frac{L}{d^2} \right) m f_i^2 \quad [2]$$

Ao contrário dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos, não há uma fórmula normalizada para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico para lajes alveolares. Sendo assim, é necessário um estudo paramétrico para correlacionar módulo de elasticidade dinâmico com a frequência de ressonância e geometria do elemento. Para isso, um modelo numérico pelo método dos elementos finitos foi elaborado para a verificação dos modos de vibração e para estimar as frequências naturais que seriam obtidas nos ensaios experimentais. O programa utilizado foi o SAP 2000.

No modelo numérico, as lajes alveolares foram simplesmente apoiadas, restringindo o deslocamento no eixo Z (vertical) e X (transversal), simulando a condição de contorno do ensaio. O elemento utilizado no modelo foi o sólido constituído de 4 nós. Para uma análise preliminar, definiu-se o coeficiente de Poisson igual a 0,2, a densidade do concreto em 2500 kg/m^3 e diferentes módulos de elasticidade, em GPa.

A Figura 4 apresenta a malha de elementos finitos da laje alveolar.

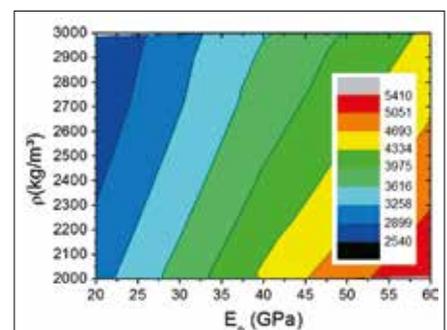
Cada modo de vibração de uma estrutura pode ser descrito de maneira simplificada pela equação (3), onde a frequência de vibração (f) do respectivo modo é definida pelo módulo de elasticidade do material (E_p), a massa da estrutura (M) e um coeficiente λ que é um parâmetro geométrico relativo a um determinado modo de vibração. Este parâmetro pode ser obtido numericamente a partir de uma análise paramétrica, variando-se a massa da estrutura e o módulo de elasticidade do material, conforme realizado na Figura 5.

$$f = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{E_p}{\rho}} \quad [3]$$

Por meio de uma regressão linear aplicada à superfície da Figura 5, obteve-se o coeficiente λ igual a $6,20 \text{ m}^{1/2}$, para a geometria da laje alveolar utilizada neste trabalho e para a frequência do 1º modo de vibração.

5.2 Resultados dos ensaios experimentais

As concretagens das lajes foram efetuadas em dias diferentes e serão chamadas de L2 e L3. Com a obtenção



► **Figura 5**
Gráfico de contorno representando a variação da frequência do 1º modo de vibração da laje alveolar

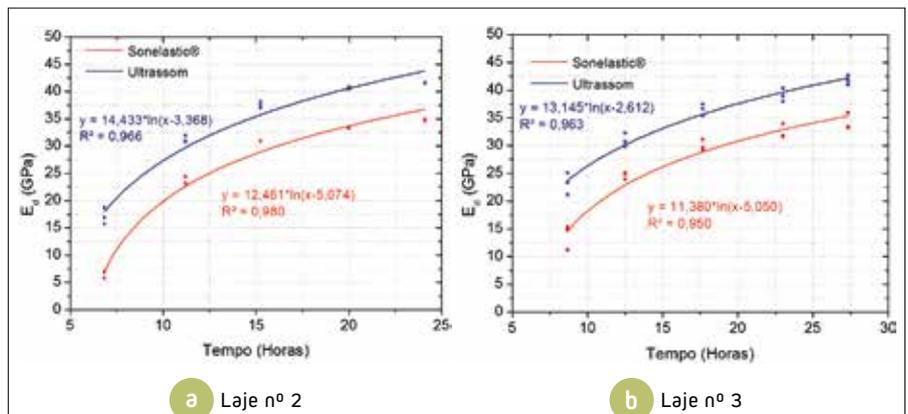


dos módulos dinâmicos por ambos os métodos, foram elaborados os gráficos dos módulos dinâmicos ao longo do tempo, bem como a equação da curva calculada, conforme apresentado na Figura 6. Primeiramente, são apresentados os gráficos obtidos dos ensaios nos CPs cilíndricos.

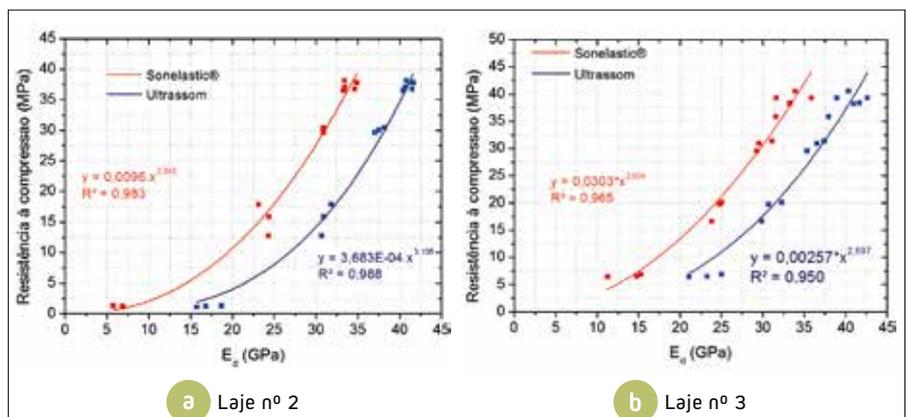
A equação que melhor representou a curva do gráfico módulo dinâmico ao longo do tempo foi a curva logarítmica, lembrando que a equação é válida somente para estes intervalos de dados e $E_d \neq 0$. Para que seja possível correlacionar os módulos de elasticidade dinâmicos de ambos os métodos com a resistência à compressão dos respectivos traços, foram rompidos 3 CPs a cada idade, totalizando 15 amostras rompidas. Com a obtenção da resistência à compressão dos CPs, elaboraram-se os gráficos correlacionando os módulos de elasticidade dinâmicos, obtido em ambos os métodos, com a resistência à compressão, conforme apresentado na Figura 7.

Observando os gráficos anteriores, nota-se que o coeficiente de determinação apresentou valores similares em ambos os métodos de ensaio, tanto para os CPs da L2, quanto para os da L3. Portanto, a curva de potência, utilizada em ambos os gráficos, representou bem os dados obtidos nos ensaios.

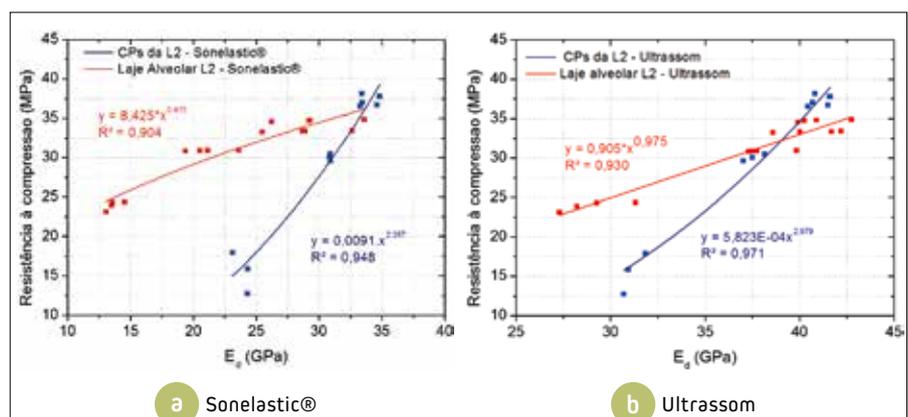
Com os módulos de elasticidade dinâmicos obtidos dos ensaios nas lajes alveolares, calculados por ambos os métodos, e a obtenção da resistência à compressão dos CPs na mesma idade dos ensaios nas lajes, elaboraram-se os gráficos e equações correlacionando o módulo dinâmico com a resistência à compressão para a laje alveolar L2 e L3. Para efeito de comparação, apresentam-se na Figura 8 e Figura 9 as correlações dos módulos dinâmicos com as resistências à compressão das lajes e



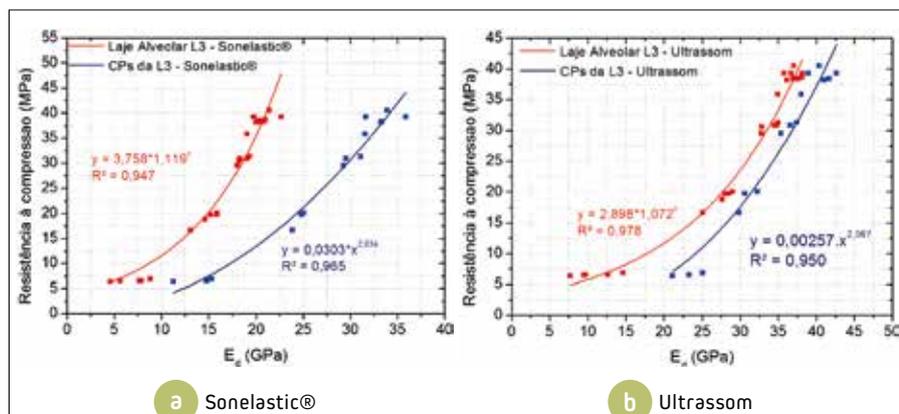
► **Figura 6**
Curva Módulo de elasticidade ao longo do tempo dos CPs cilíndricos



► **Figura 7**
Gráfico de correlação da resistência à compressão vs módulo dinâmico dos métodos do Sonelastic® e ultrassom dos CPs cilíndricos



► **Figura 8**
Comparação do gráfico de correlação da resistência à compressão vs módulo dinâmico para a laje e CPs cilíndricos da L2 utilizando Sonelastic® e Ultrassom



► **Figura 9**
Comparação do gráfico de correlação da resistência à compressão vs módulo dinâmico para a laje e CPs cilíndricos da L3 utilizando Sonelastic® e Ultrassom

nados os transdutores. Já o Sonelastic®, o módulo dinâmico é global, registrando toda a vibração do elemento em estudo.

Outro fator a considerar é que, apesar de se ter realizado os ensaios com o mesmo método nos CPs e nas lajes alveolares, cada elemento terá uma curva de correlação do módulo dinâmico pela resistência à compressão diferente. O motivo é que cada elemento estrutural possui um crescimento diferente do módulo dinâmico ao longo do tempo, conforme apresentado nas análises, devido ao processo de cura ligeiramente diferente. Ressalta-se, porém, que, neste estudo específico, poderia se utilizar as curvas de correlação obtidas dos CPs cilíndricos para estimar a resistência à compressão das lajes a partir do módulo de elasticidade obtido nos ensaios das lajes, pois, neste caso, esta resistência estimada seria menor do que a resistência real, o que estaria a favor da segurança.

Finalmente, os resultados mostram que a aplicação de ensaios não destrutivos na caracterização do concreto utilizado na construção de elementos pré-fabricados pode ser uma alternativa viável. Talvez, não seja o caso de se substituir os ensaios destrutivos por ensaios não destrutivos, mas utilizar ambos em conjunto de maneira a se poder ter uma caracterização mais confiável, com mais dados para análise. ➤

CPs no mesmo gráfico, utilizando o Sonelastic® e o ultrassom.

Os gráficos da Figura 8 demonstram que os ensaios na laje alveolar nº 2, tanto para o Sonelastic® quanto para o ultrassom, não apresentaram comportamento similar aos seus respectivos CPs. Para a laje alveolar nº 3, os ensaios do ultrassom na laje e nos CPs apresentaram curvas de correlação similares, demonstrando que ambos os elementos possuem comportamentos semelhantes quanto ao crescimento do módulo. A diferença está nos valores desses módulos, já que, para uma mesma resistência à compressão, os valores do módulo dinâmico da laje e

dos CPs são distintos, comprovando que cada elemento possui um crescimento do módulo diferente ao longo do tempo.

6. CONCLUSÃO

Apesar de ambos os métodos apresentarem boa correlação, tanto nos CPs quanto nas lajes alveolares, cada tipo de ensaio possui diferentes equações e curvas na correlação. Isso porque o módulo dinâmico do ultrassom é sempre maior do que no Sonelastic®. Esse fator já era esperado, e ressalta-se que a obtenção do módulo dinâmico pelo ultrassom é localizado, obtendo as ondas ultrassônicas somente nos pontos em que estão posicio-

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [03] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8802: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2013.
- [04] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 228.2R. Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Farmington Hills, 2013.
- [05] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C597-09: Standard method for pulse velocity through concrete. Philadelphia, 2016.
- [06] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E1876-09: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. Philadelphia, 2015.
- [07] CARINO, N.J. Nondestructive Test Methods. In: NAWY, E. G. Concrete construction engineering handbook, Boca Raton: CRC Press, 1997. Cap. 19, p.19-68
- [08] CATOIA, B. Lajes alveolares protendidas: cisalhamento em região fissurada por flexão. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [09] MIZUMOTO, C.; MARIN, M. C.; SILVA, M.C. Aspectos técnicos referente a sistemática de controle e produção da laje alveolar de concreto pré-fabricado. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 3, 2013, São Carlos, Anais. São Carlos: 3º PPP, 2013.



Caracterização e passivação dos aços CA24 e CA50

LEONARDO GOMES DE SÁ E CARVALHO – MESTRE

ENIO PAZINI FIGUEIREDO – PROFESSOR TITULAR, DOUTOR

ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

I. INTRODUÇÃO

O concreto armado é uma associação inteligente de materiais, que fornece um material construtivo relativamente barato se comparado aos demais, com boa resistência à água, grande estabilidade dimensional, possuindo inúmeras possibilidades de tamanhos e formas e, principalmente, com alta capacidade de suportar esforços, tanto de tração quanto de compressão. Por esses motivos, o concreto armado foi considerado um material definitivo na construção civil, aliando durabilidade e resistência.

Porém, com o passar dos anos, a durabilidade do concreto armado, que antes era considerada ilimitada, começou a ser questionada, em razão do surgimento de manifestações patológicas que começaram a deteriorar as estruturas de concreto, algumas vezes de forma prematura, sendo a principal delas a corrosão das armaduras.

No contexto da Patologia das Construções, a corrosão de armaduras em estruturas de concreto é um dos problemas de grande destaque, sendo complexa, séria e onerosa para ser resolvida na construção civil. Atualmente, vários profissionais e setores da construção civil estão mobilizados no sentido de

prevenir, controlar e reabilitar estruturas de concreto que apresentam ou estão suscetíveis a esse fenômeno tão danoso e que tanto prejuízo econômico traz para a sociedade.

A corrosão das armaduras é um processo eletroquímico que ocorre naturalmente, conduzindo a formação de óxidos e hidróxidos de ferro, com volume muito superior ao volume do metal original. Esse aumento de volume cria tensões internas no concreto, que levam ao surgimento de fissuras, manchas superficiais, destacamento do revestimento, perda de aderência entre o concreto e a armadura, e perda de seção da armadura, podendo levar à instabilidade e ao colapso da edificação ou de suas partes.

Existem muitos trabalhos realizados, nacional e internacionalmente, que avaliam o desempenho do concreto armado frente à corrosão, levando em consideração apenas características do concreto, tais como a composição do concreto, a espessura do revestimento, a porosidade do concreto e a presença de contaminantes no concreto, entre outros aspectos. Porém, ainda são poucos os trabalhos que contemplam a participação da variável “tipo de aço” no desempenho da corrosão de peças de concreto.

Embora as características e condições do meio (concreto) que envolve a armadura sejam muito importantes para o estabelecimento e manutenção da passivação da armadura ao longo do tempo, está provado, pelos casos práticos, que o concreto é falível, e, em condições de uso, frequentemente, torna as armaduras vulneráveis aos processos corrosivos, permitindo sua despassivação. A partir desse momento, a variável aço passa a ter uma influência no desenvolvimento dos processos corrosivos, uma vez que os diferentes tratamentos térmicos e mecânicos pela qual passam as armaduras, bem como a composição química variada e os diversos níveis de inclusão apresentados pelos tipos de aço, alteram a microestrutura do material, tornando-o mais ou menos suscetível à corrosão. Por esta razão não são incomuns os casos práticos em que se observam aços menos processados industrialmente (em obras antigas) praticamente sem apresentar corrosão, enquanto que aços mais novos, com elevada energia de produção, de alta dureza e resistência mecânica, mostram sinais visíveis e acentuados de corrosão, mesmo em estruturas de concreto relativamente novas e, muitas vezes, inseridos em concretos mais nobres.

O aço 37-CA, aqui denominado de CA24 para igualar a nomenclatura atual que identifica, na simbologia, a tensão de escoamento mínima, a qual para o aço 37-CA é de 240 MPa, segundo a ABNT EB-3:1939, foi amplamente empregado nas construções até a década de 60 e o aço CA50 é o aço atual mais empregado como armadura de elementos em concreto. Em muitas situações, durante a realização de recuperações e reforços em estruturas de concreto antigas, que foram feitas com aço CA24, é comum o uso de armaduras de aço CA50 para repor seções de armaduras perdidas pela corrosão ou para a realização de reforços. Quando juntas em um mesmo elemento, o comportamento dessas armaduras pode ser diferente dependendo do sucesso na etapa de remoção do concreto contaminado com cloretos. Neste artigo apresenta-se o comportamento dos aços CA24 (antigo) e CA50 (atual) durante o processo de passivação, simulando a situação em que os dois tipos de aços estarão imersos em concreto não contaminado por cloretos e não carbonatado, após a realização de recuperação ou de reforço.

2. PASSIVAÇÃO DAS ARMADURAS

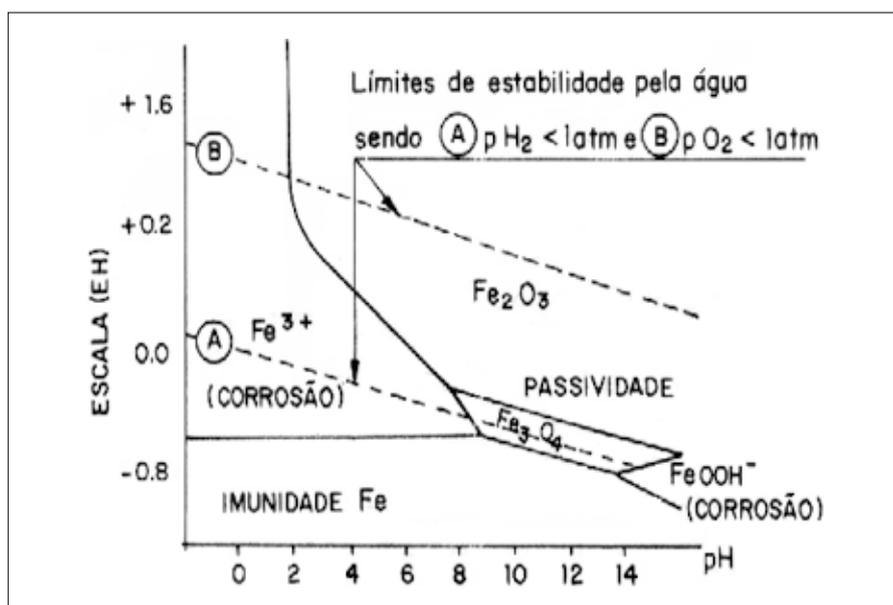
Desde que bem projetado, empregando as recomendações da ABNT NBR 6118:2014, ou seja, com relação água/cimento, resistência, espessura do cobrimento, consumo de cimento e abertura máxima de fissuras compatíveis com a agressividade ambiental, e bem controlado e executado, empregando os procedimentos da ABNT NBR 12655:2015 e da ABNT NBR 14931:2004, ou seja, cuidando do controle de recebimento e das atividades de transporte, lançamento, aden-

samento e cura, o concreto representa uma barreira física ao ingresso e avanço dos agentes iniciadores do processo de corrosão das armaduras, principalmente os cloretos e a carbonatação. Contudo, o concreto não se limita apenas a fornecer uma proteção de natureza física contra os elementos nocivos à armadura, ele também estabelece uma proteção de natureza química.

Durante o processo de hidratação do cimento, gera-se um sólido constituído pelas fases hidratadas do cimento e pela fase aquosa que ocupa a rede de poros intersticiais e capilares do concreto. Com o decorrer do processo, a pasta de cimento torna-se muito alcalina devido à presença de íons OH^- ; Ca^{++} , Na^+ , K^+ e SO_4^{--} no líquido aquoso da rede de poros. A alcalinidade gerada apresenta um potencial de hidrogênio (pH) entre 12,7 e 13,8 (LONGUET *et al.*, 1973), ocasionando a formação da película de passivação da armadura, protegendo-a da corrosão enquanto não ocorrer alterações físicas ou

químicas na camada de concreto que a envolve. A denominada película passivadora pode ser entendida como um filme transparente, com nanômetros de espessura, fortemente aderida sobre o aço, estável e composta por duas camadas de óxidos de ferros mais ou menos hidratados com vários níveis de Fe^{2+} e Fe^{3+} , sendo uma interna, onde predomina o Fe_3O_4 , e outra externa de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (BERTOLINI *et al* (2004), HELENE (1993)). Segundo Hausmann (1998), a utilização excessiva de adições minerais no cimento tende a diminuir este pH da solução intersticial, porém não o suficiente para comprometer a película passivadora.

Conforme pode ser observado na Figura 1, enquanto o concreto se mantiver com alta alcalinidade, valor de pH superior a 9,0 e sem cloretos livres, a armadura estará protegida da corrosão. Entre as duas retas tracejadas paralelas e oblíquas do diagrama forma-se uma região onde existem condições para a formação da

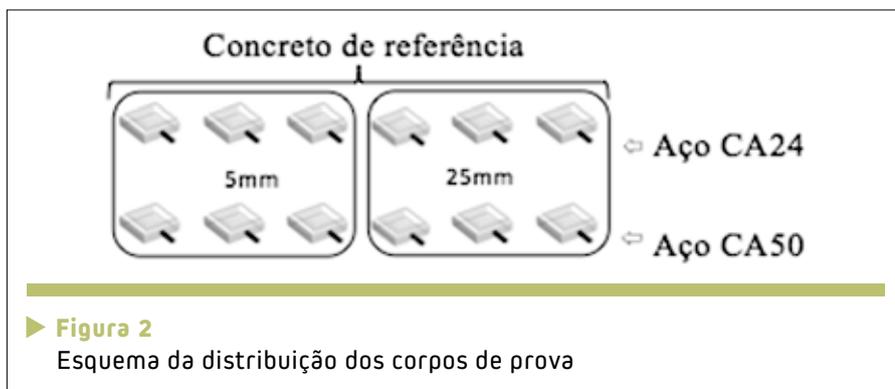


► **Figura 1**

Diagrama de equilíbrio termodinâmico de Pourbaix.

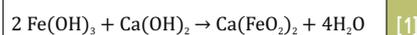
Potencial versus pH para o sistema Fe-H₂O a 25°C (POURBAIX, 1976)





► **Figura 2**
Esquema da distribuição dos corpos de prova

película de passivação. As referidas retas representam a região de estabilidade da água, sendo que acima delas é o domínio do oxigênio e abaixo, o do hidrogênio. As armaduras com produtos de corrosão sobre sua superfície, antes de serem concretadas, ao entrarem em contato com a matriz cimentícia altamente alcalina, podem dar origem à formação de uma película passivante espessa de ferrita de cálcio (óxido duplo de cálcio e ferro), resultante da combinação da ferrugem superficial da armadura com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento (BASÍLIO, 1972). Esta reação é representada pela Equação 1.



O diagrama também mostra a região de imunidade do ferro, onde o potencial de eletrodo é menor que

-0,6 V em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio. Quando a armadura permanece nessas condições, ela não reagirá com o meio, qualquer que seja sua natureza (ácida, neutra ou alcalina).

As duas regiões da extrema esquerda e direita do Diagrama de Pourbaix, principalmente a da esquerda, representam as situações onde pode ocorrer corrosão do ferro. Para as estruturas de concreto convencionais, a película passivadora é desestabilizada pela diminuição do pH do concreto a valores inferiores a 9,0, devido ao processo de carbonatação, ou devido à presença de cloretos livres no concreto na posição da armadura.

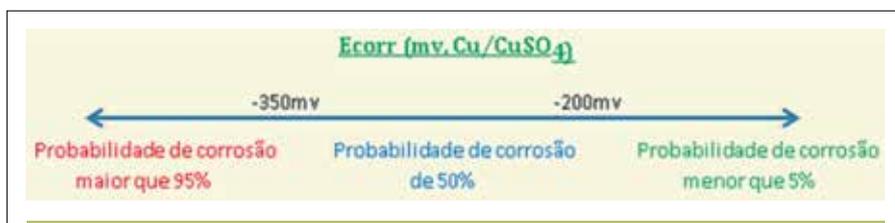
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A metodologia aplicada neste trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento dos aços CA24

(antigo) e CA50 (atual) durante o processo de passivação, simulando a situação em que os dois tipos de aços estarão imersos em concreto não contaminado por cloretos e não carbonatado, após a realização de recuperação ou de reforço.

Nos experimentos foram empregadas barras de aço carbono de classificação CA 24 e CA 50 de diâmetro nominal de 5mm e 25mm. Para a caracterização das armaduras, foram feitos ensaios de metalografia e composição química, ensaios de caracterização da dureza Vickers e ensaios mecânicos para caracterização da tensão de escoamento e de ruptura, alongamento e dobramento, obtidos segundo os preceitos das Normas ABNT NBR 7480:2007, ABNT NBR 6892:2013, ABNT NBR 6153:1998, para o aço CA50, e EB-3:1939 (precursora da ABNT NBR 7480), para o aço CA24. O ensaio de dureza Vickers consiste na aplicação de uma determinada carga (P) em um penetrador bastante duro, o qual está em contato com a superfície do material a ser testado. No caso da dureza Vickers, utiliza-se um penetrador de diamante com a forma de uma pirâmide quadrangular. As dimensões da marca de penetração (indentação) deixadas na superfície do material são aferidas com o uso de microscópio. A partir dessas dimensões é calculada a área superficial da indentação. O cálculo da dureza Vickers (VHN) é definido como a carga aplicada (P) dividida pela área superficial da indentação (A), conforme Equação 2.

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \cdot P}{A} \quad [2]$$

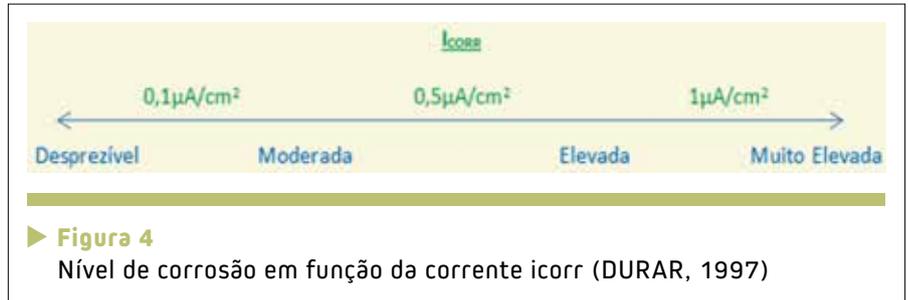


► **Figura 3**
Critérios de avaliação da probabilidade de corrosão por meio de medidas de potencial de corrosão (Ecorr), segundo a ASTM C-876 (1991)

Onde:

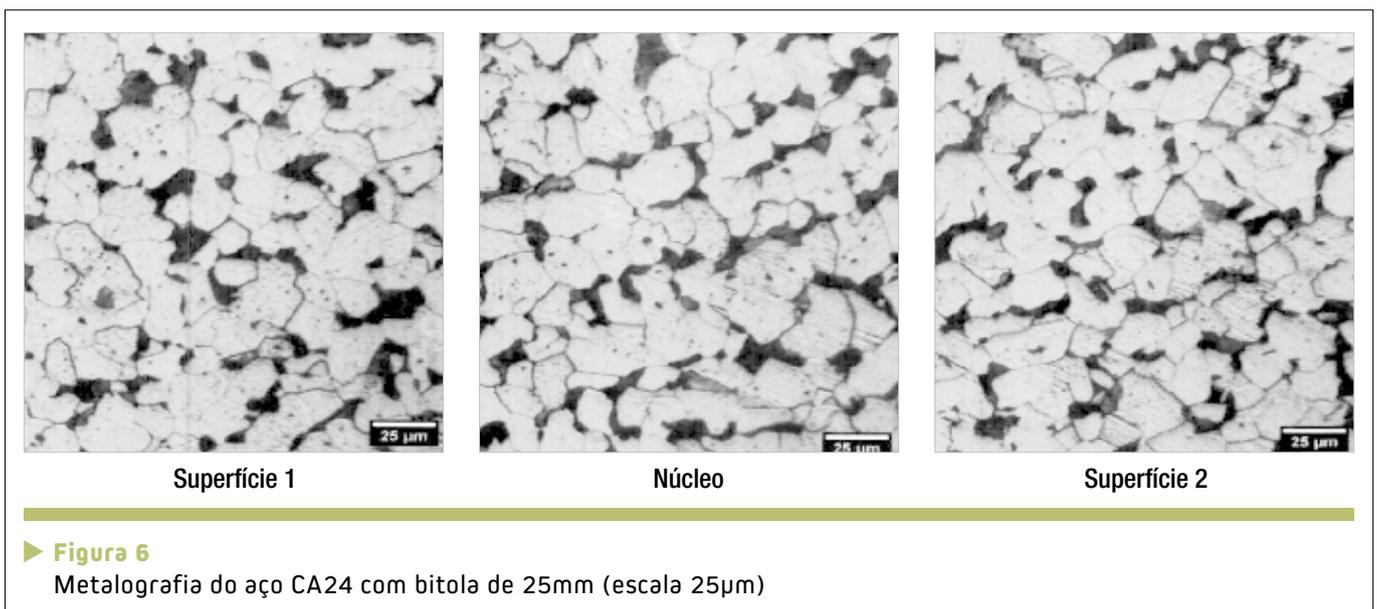
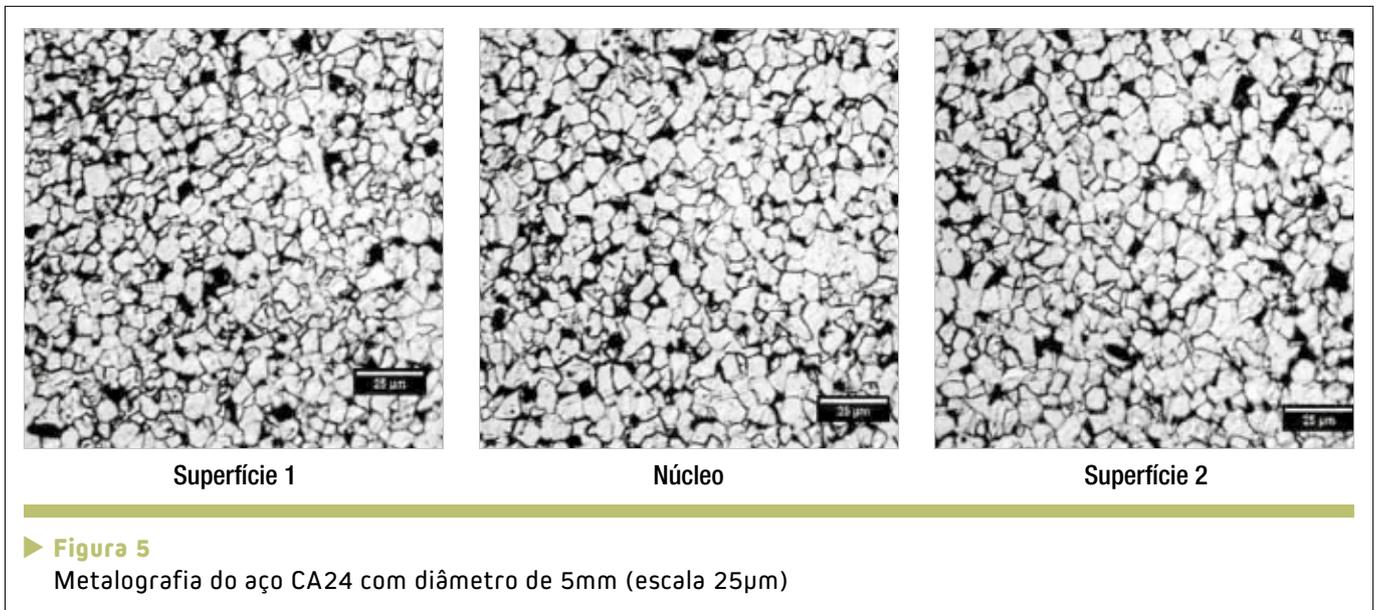
- VHN é o número da dureza Vickers;
- P é a carga aplicada em Kgf; e
- A é a área superficial da indentação em mm².

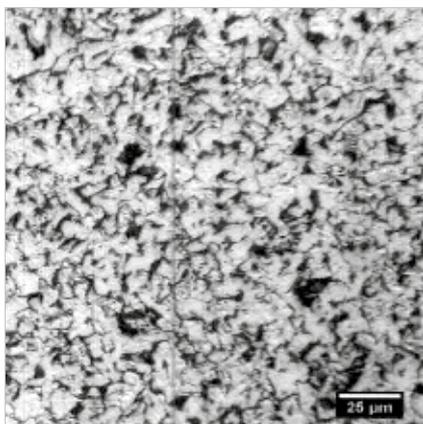
Foram confeccionados um total de 12 corpos de prova prismáticos de tamanhos iguais, sendo 3 com CA24 e diâmetro 5mm, 3 com CA24 e diâmetro 25mm, 3 com CA50 e diâmetro 3mm e 3 com CA50 e 25mm de diâmetro, utilizando-se o concreto de referência, cujo traço é 1 : 1,434 : 2,683 : 0,55 (cimento



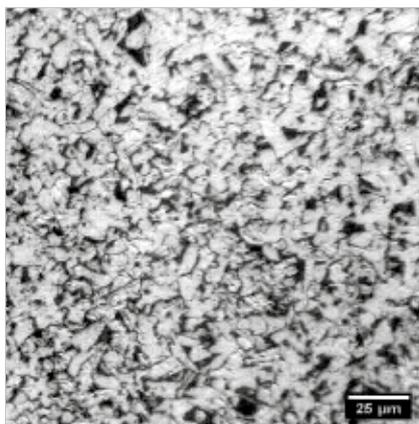
: areia : brita : água), para um consumo de 400 kg de cimento por m³. Em cada corpo de prova há apenas uma barra de aço em seu interior (Figura 2).

Durante 90 dias o comportamento dos aços CA24 e CA50 foi monitorado por meio de medidas eletroquímicas de potencial de corrosão (E_{corr}) e

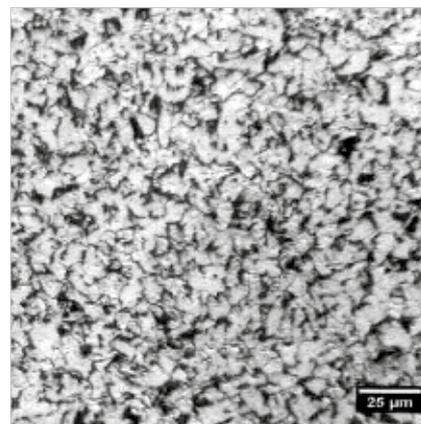




Superfície 1

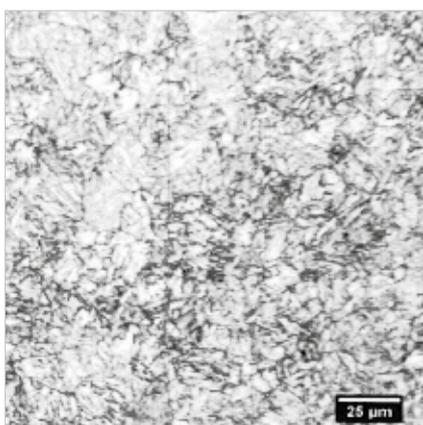


Núcleo

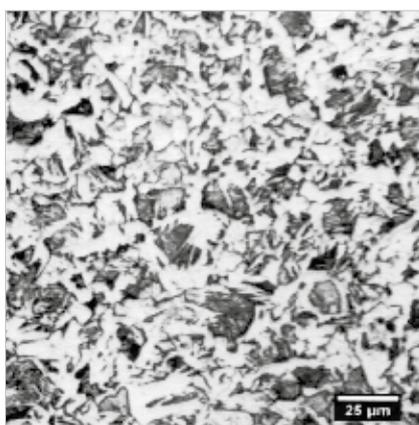


Superfície 2

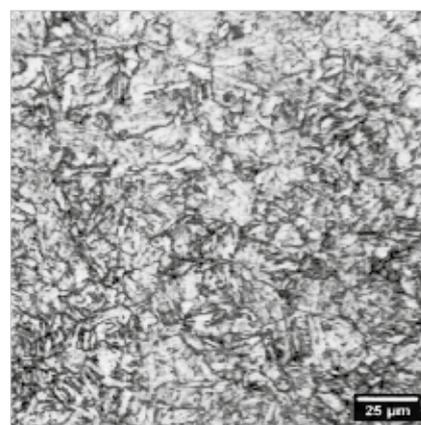
► **Figura 7**
Metalografia do aço CA50 com diâmetro de 5mm (escala 25μm)



Superfície 1



Núcleo



Superfície 2

► **Figura 8**
Metalografia do aço CA50 com diâmetro de 25mm (escala 25μm)

resistência de polarização (i_{corr}), que informam sobre o processo de passivação/corrosão das armaduras.

A medida do potencial de corrosão da armadura (E_{corr}) consiste no registro da diferença de voltagem entre a armadura e um eletrodo de referência, que é colocado em contato com a superfície do concreto. A ASTM C-876 (1991) apresenta uma correlação entre intervalos de diferença de potencial, em relação a um eletrodo de referência de Cu/SO_4Cu , e a probabilidade

de ocorrência de corrosão (Figura 3).

Os valores da velocidade de corrosão (i_{corr}) podem ser relacionados qualitativamente ao grau de corrosão da armadura, empregando-se os critérios da Figura 4.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Metalografia

As Figuras 5, 6, 7 e 8 mostram

metalografias típicas dos aços CA24 e CA50 com diâmetros de 5mm e 25mm. Em todas as amostras foram realizadas microfotografias do núcleo da barra de aço e de dois pontos próximos da superfície externa.

Os ensaios de metalografia do aço CA24 em ambos os diâmetros revelaram uma microestrutura composta de ferrita e perlita, tanto próxima da superfície da barra (superfícies 1 e 2) quanto na sua estrutura central (núcleo), mostrando a

► Tabela 1 – Composição química dos aços CA24 e CA50

Classificação e diâmetro do aço		CA24 (5mm)		CA24 (25mm)		CA50 (5mm)		CA50 (25mm)	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Elementos químicos	Ferro (%)	99,1	99,3	98,9	99,4	98,1	97,9	98,5	98,4
	Carbono (%)	0,079	0,094	0,171	0,077	0,264	0,248	0,281	0,295
	Silício (%)	0,073	0,080	0,150	0,080	0,248	0,184	0,137	0,148
	Manganês (%)	0,322	0,288	0,440	0,305	0,950	0,815	0,620	0,751
	Fósforo (%)	0,037	0,069	0,018	0,028	0,018	0,025	0,074	0,025

existência de homogeneidade no aço CA24. No entanto, a microestrutura de ferrita e perlita no aço CA24 de 5mm possui tamanho de grãos férricos no 8 (Figura 5), enquanto que, no aço CA24 de 25mm, o tamanho de grãos foi de no 11 (Figura 6). Essa diferença de dimensão do grão confere ao aço CA24 de maior diâmetro uma quantidade superior de ferrita, em relação ao aço de menor diâmetro. Segundo Co-paert (2008), a ferrita é a estrutura mais mole e torna o aço mais dúctil quando apresenta-se como o seu principal constituinte. Isto explica os baixos resultados de dureza encontrados na Tabela 2 para o aço CA24 de 25mm em relação ao mesmo tipo de aço com diâmetro inferior.

O resultado da metalografia do aço CA50 com diâmetro de 5mm mostrou-se semelhante ao do aço CA24 de 5mm, ou seja, uma microestrutura de ferrita e perlita com tamanho de grão nº 11. O mesmo não ocorreu no aço CA50 com diâmetro de 25mm, que apresentou dois tipos de microestruturas. A primeira, localizada em seu núcleo, é constituída de uma matriz perlítica com redes de ferrita. A perlita é formada a partir de uma mistura eutetóide de duas fases, ferrita e cementita, sendo mais dura

e resistente que a ferrita, porém mais branda e maleável que a cementita. Esse resultado é compatível ao encontrado na Tabela 2, onde o grau de dureza no núcleo do aço CA50 de diâmetro de 25mm é superior aos aços CA24 de diâmetro de 5mm e 25mm, e ao do aço CA50 de 5mm, que possuem uma estrutura de ferrita-perlita. A segunda microestrutura, localizada próxima à borda do aço CA50 de diâmetro 25mm, é do tipo martensítica, que possui elevado índice de dureza. Krauss (1990) explica que o aparecimento de uma microestrutura martensítica é usualmente decorrente do efeito do resfriamento rápido empregado no metal, sendo que os átomos de carbono ficam presos em octaédricos de uma estrutura CCC (cúbica de corpo centrado), produzindo assim uma nova fase, a

martensita. A transformação da microestrutura em martensita ocorre continuamente com o decréscimo da temperatura durante o resfriamento ininterrupto. A martensita tem elevado índice de dureza, o que explica a elevada dureza superficial encontrada na borda do aço CA50 de 25mm de diâmetro (Tabela 2).

4.2 Composição química e dureza Vickers

A Tabela 1 mostra a composição química dos aços CA24 e CA25 com diâmetros de 5 e 25mm.

A análise da composição química dos aços revelou mais que o dobro do índice de carbono na estrutura do aço CA50 em relação ao aço CA24, sendo que a amostra de aço CA50 de 25mm obteve o maior percentual de carbono em sua

► Tabela 2 – Resultado do ensaio de dureza Vickers

	Dureza Vickers (HV1)		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
CA24 – 5mm (centro)	173,5	173,8	174,0
CA24 – 25mm (centro)	137,1	138,2	137,4
CA24 – 25mm (borda)	144,2	144,3	144,0
CA50 – 5mm (centro)	260,1	260,4	261,0
CA50 – 25mm (centro)	184,5	184,5	184,3
CA50 – 25mm (borda)	308,1	308,2	308,0



► Tabela 3 – Propriedades mecânicas dos aços CA24 e CA50

Classe do aço	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência (MPa)	Alongamento em 10Φ (%)	Dobramento a 180°
CA24	5	500	373	544	24	Ok
CA24	25	500	385	423	20	Ok
CA50	5	500	815	848	10	Ok
CA50	25	500	700	750	10	Ok

composição, o que pode explicar a maior dureza Vickers encontrada na superfície deste aço e neste diâmetro (Tabela 2).

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos no ensaio de dureza superficial Vickers para os aços CA24 e

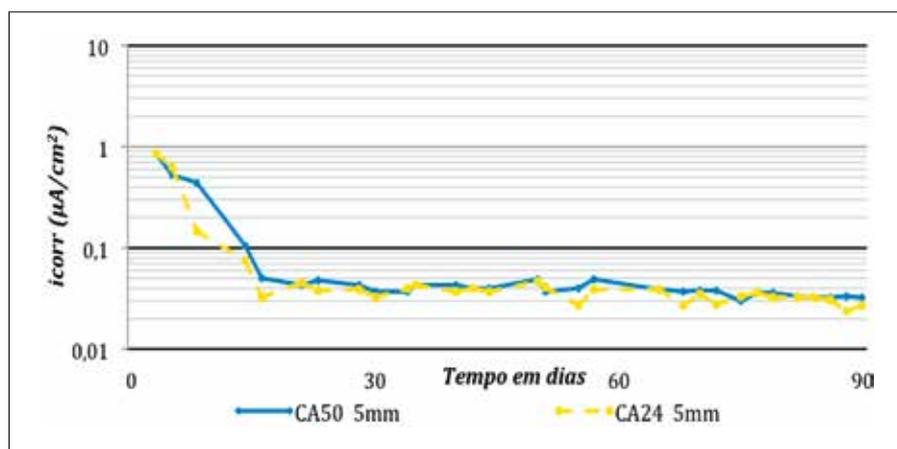
CA50 com diâmetros de 5 e 25mm.

Os aços CA50 obtiveram resultados de dureza superiores aos dos aços CA24, sendo que os maiores valores de dureza observados estão localizados na borda do aço CA50 com bitola de 25mm. Os maiores teores de carbono nestes aços explicam suas maiores durezas (COPAERT (2008)). Além da composição química, conforme discutido no Item 2.1, a análise metalográfica também pode explicar a dureza dos aços.

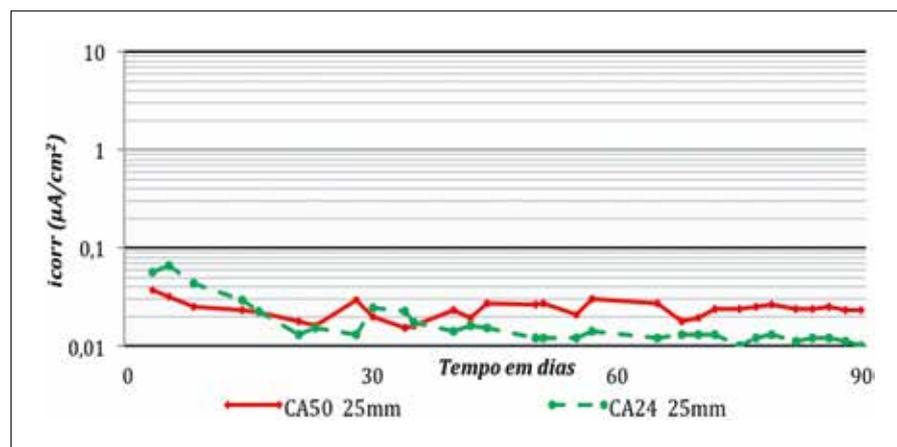
4.3 Características mecânicas

A Tabela 3 apresenta as tensões de escoamento e de ruptura, o alongamento e o resultado do ensaio de dobramento dos Aços CA24 e CA50 com diâmetros 5 e 25mm.

Todas as armaduras estudadas atenderam aos requisitos de escoamento, resistência à tração, alongamento e dobramento, estabelecidos pela ABNT NBR 7480:2007, para o aço CA50, e EB-3:1939, para o aço CA24. A única exceção está no alongamento do aço CA24 de diâmetro 25mm que, segundo a EB-3, deveria ser maior que 22,4%, mas o resultado obtido foi de 20%. O aço que obteve maior porcentagem de alongamento foi o aço CA24 de diâmetro de 5mm, que, por sua vez, foi o que possuía o menor teor de carbono em sua composição.



► **Figura 9**
Densidade de corrente de corrosão (i_{corr}) versus tempo para os aços CA24 e CA50 com 5mm de diâmetro



► **Figura 10**
Densidade de corrente de corrosão (i_{corr}) versus tempo para os aços CA24 e CA50 com 25mm de diâmetro

4.4 Análise da passivação por meio dos parâmetros eletroquímicos

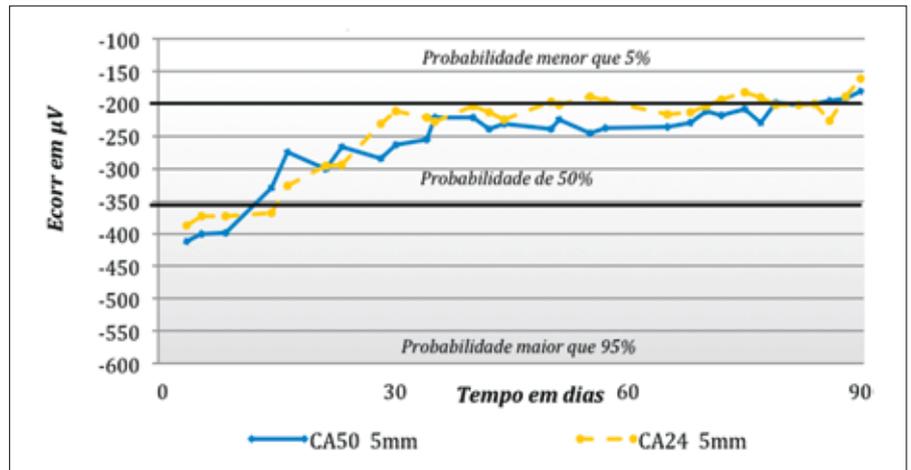
As Figuras 9 e 10 mostram a evolução da densidade de corrente de corrosão (i_{corr}) das armaduras de aço CA24 e CA50 com diâmetros de 5mm e 25mm, respectivamente, embebidas no concreto de referência.

As Figuras 11 e 12 mostram a evolução do potencial de corrosão (E_{corr}) das armaduras de aço CA24 e CA50 com diâmetros de 5mm e 25mm, respectivamente, embebidas no concreto de referência.

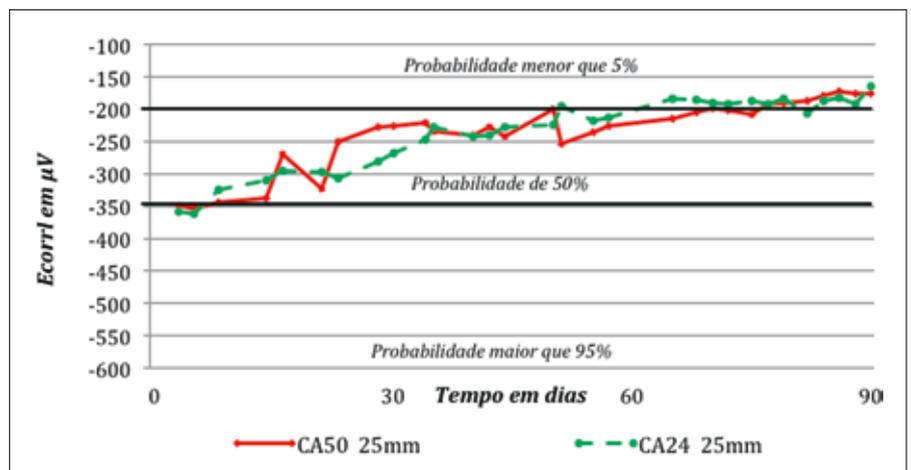
Os resultados das Figuras 9, 10, 11 e 12 mostram que inicialmente a densidade de corrente de corrosão (i_{corr}) e o potencial de corrosão (E_{corr}) indicam certa atividade, o que é explicado pela rápida oxidação ocorrida no processo de formação da camada passiva (FIGUEIREDO, 1994). Após alguns poucos dias, os registros da i_{corr} passam a ser todos inferiores a $0,1\mu A/cm^2$, indicando corrosão desprezível (Figura 4), e os registros de E_{corr} vão em direção e se mantêm em valores superiores a -200 mV em relação ao eletrodo de cobre-sulfato de cobre, o que significa baixa atividade e baixa probabilidade de corrosão (Figura 3). Portanto, os parâmetros eletroquímicos mostram que os aços CA24 e CA50, tanto com diâmetros menores como maiores, não possuem diferenças no que se refere ao processo de passivação, podendo ser associados em concretos isentos de cloretos e não carbonatados.

5. CONCLUSÕES

Apesar das diferenças existentes



► **Figura 11**
Potencial de corrosão (E_{corr}) da armadura em função do tempo para o aço CA24 e CA50 com 5mm de diâmetro



► **Figura 12**
Potencial de corrosão da armadura (E_{corr}) em função do tempo para o aço CA24 e CA50 com 25mm de diâmetro

na composição química e metalográfica, na dureza superficial, nas propriedades mecânicas e na ductibilidade dos aços CA24 e CA50, o monitoramento eletroquímico da i_{corr} e do E_{corr} ao longo dos 90 dias de ensaio mostrou que ambos os aços, com os dois diâmetros estudados, mostraram semelhantes capacidades de se passivarem quando envolvidos por concreto sem cloretos e não carbonatado. Portanto, o aço CA50 poderia ser empregado em

trabalhos de recuperação e reforço de estruturas antigas, com aço CA24, desde que o concreto com cloretos e carbonatado tenha sido totalmente removido do entorno dessas armaduras.

Diferentemente da conclusão relativa ao período de passivação, estudo realizado por Carvalho (2014) mostrou que, após a despassivação, o tipo de aço e o diâmetro das armaduras influenciam na velocidade de propagação da corrosão. 📌



▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12655. Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- [03] LONGUET, P.; BURGOEN, L.; ZELWER, A.. La phase liquid du ciment hydraté. Rev. Materiales de Construcción, n. 676, 1973, p.35-42.
- [04] BERTOLINI, L.; ELSENER, B.; PEDEFERRI, P.; POLDER, R.. Corrosion of Steel in Concrete – Prevention, Diagnosis, Repairs. Weinheim: WILEY-VCH, 2004. 392 p. ISBN: 3-527-30800-8.
- [05] HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 1993, 231p. Tese (Livre-Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica de São Paulo – USP, São Paulo.
- [06] HAUSMANN, D. A. Steel corrosion in concrete: how does it occur? Materials Protection, p. 19-23, 1967. _____. A probability model of steel corrosion in concrete. Materials Performance, Houston, v. 37, n. 10, p. 64-68. 1998.
- [07] BASILIO, F. A. Durabilidade dos Concretos. Permeabilidade e Corrosão Eletrolítica. São Paulo, ABCP, 1972.
- [08] POURBAIX, M. Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions. NACE, Cebelcor, 1976.
- [09] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480. Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, 2007.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6892. Materiais metálicos — Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6153. Produtos metálicos - Ensaio de dobramento semi-guiado. Procedimento. Rio de Janeiro, 1988.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. EB-3. Barras laminadas de aço comum para concreto armado. Rio de Janeiro, 1939.
- [13] AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. Standard Test Methods for Half Cell Potential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. ASTM C 876. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, EUA, 1991.
- [14] COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. Ed. São Paulo, SP, Ed. Edgard McGraw-Hill, 2008.
- [15] KRAUSS, G. Steels: heat treatment and processing principles. 2 ed. Ohio: ASM International, 1990. 497p.
- [16] DURAR (Red Temática XV.B – Durabilidad de la Armadura – del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. Rio de Janeiro: CYTED, 1997. 208 p.
- [17] FIGUEIREDO, E. J. P. Avaliação do desempenho de Revestimento para proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas – contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado. EPUSP. Tese (Doutorado). São Paulo, 1994. 423p.
- [18] CARVALHO, L. G. S. Resistência à corrosão dos aços CA24 e CA50 frente à corrosão. UFG/EEC/CMEC. Dissertação (Mestrado). Goiânia, 2014, 158p.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14931. Execução de estruturas de concreto. Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.



Prática Recomendada IBRACON Concreto Autoadensável

COORDENADOR Bernardo Fonseca Tutikian
SECRETÁRIO Roberto Christ

Traz para a comunidade técnica os conceitos relacionados ao concreto autoadensável, as recomendações para seleção de materiais, os métodos de dosagem, os procedimentos de mistura, as recomendações para a aceitação do concreto no estado fresco e para seu transporte, lançamento e rastreamento

A obra é resultado do trabalho do Comitê Técnico IBRACON sobre Concreto Autoadensável (CT 202), voltando-se aos profissionais que lidam com a tecnologia do concreto autoadensável nos canteiros de obras, nas indústrias de pré-fabricados, nos laboratórios de controle tecnológico e nas universidades.

DADOS TÉCNICOS

ISBN / ISSN: 978-85-98576-25-1

Edição: 1ª edição

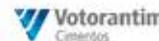
Formato: Eletrônico

Páginas: 78

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2015

Patrocínio



Aditivos especiais para concretos de parede

DANILA FABIANE FERRAZ • RENAN LUCAS LAPA LOBO • MATEUS DE SOUZA GUERRA

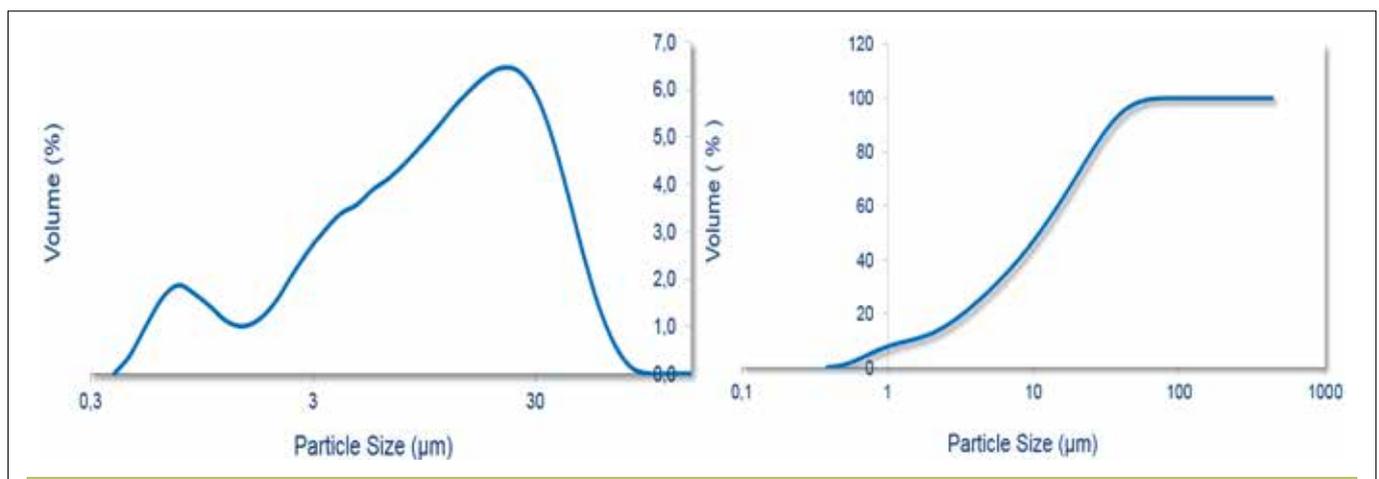
GCP APPLIED TECHNOLOGIES

I. INTRODUÇÃO

Os benefícios do concreto autoadensável, como a boa capacidade de bombeamento e a eliminação da necessidade de compactação, são reduzidos pela necessidade de incremento de materiais finos na mistura, o que poderá elevar o custo e demanda de água, aumentar a sensibilidade a pequenas variações na relação água/cimento e necessidade de dosagens especiais. As principais características do concreto para a produção de paredes é boa fluidez, sem haver segregação e exsudação, altas resistências iniciais, bom controle reológico para auxiliar no bombeamento e controle do teor de ar. Isso é um grande desafio, por se tratar de um concreto autoadensável,

ou seja, com classe de espalhamento entre SF1 ou SF 2, onde é exigido um teor de material fino para estabilizar e dar coesão e conseguir atingir a fluidez necessária, sem haver segregação dos materiais. Porém, em paredes de concreto, os valores de resistência podem variar dependendo do projeto, podemos citar alguns casos onde a especificação varia de 25-30Mpa em 28 dias. Um dos parâmetros que merece destaque é a necessidade do desenvolvimento de pelo menos 3,0 MPa com apenas 12 horas após a moldagem, para acelerar a desforma, critério que define rapidez do sistema em relação a outros. Neste estudo, foi identificado que o aditivo base policarboxilato modificador de viscosidade proporciona uma mistura com tensão de esco-

amento pequena, porém, mensurável, usando dosagens típicas da concretaria, apenas ajustando o teor de finos, sendo possível obter um concreto para paredes com boa fluidez e sem segregação e exsudação. Dois aditivos fluidificantes foram estudados sendo um deles base policarboxilato convencional (identificado como PCE) e o outro aditivo, igualmente de um policarboxilato, porém com características de modificador de viscosidade (identificado como PCMV). Os estudos foram feitos com ambos aditivos e cimento CP V ARI RS, primeiramente em pasta depois em argamassa e finalmente em concreto. Os ensaios em concreto convencional foram realizados para o desenvolvimento de uma dosagem ideal para paredes de concreto e sem apresentar exsudação



► **Figura 1**
Distribuição do tamanho médio de partículas do cimento CP V ARI RS



e segregação, sendo o aditivo PCMV o que apresentou menor tendência à segregação e exsudação, possibilitando o uso de uma maior dosagem em misturas com menor teor de finos, permitindo uma redução de custo do concreto e menor consumo de cimento, atendendo aos requisitos de especificação de resistências para concretos de parede.

2. CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO

O cimento foi caracterizado para avaliar as suas propriedades físico-químicas e mineralógicas. A avaliação da distribuição do tamanho médio de partículas foi feita no equipamento Malvern Mastersizer e os resultados mostrados na Figura 1.

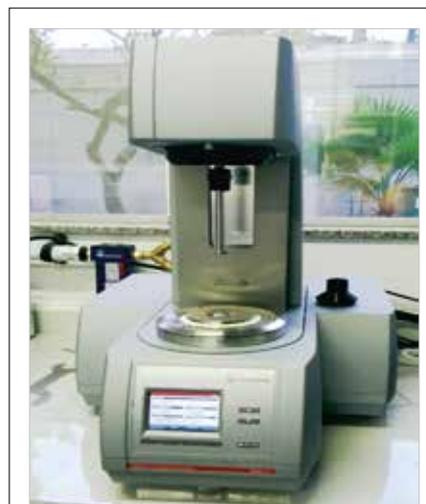
Os cimentos também foram caracterizados por difração de raios X e Fluorescência de raios X, sendo que os en-

saio de fluorescência de Raios X foram realizados seguindo as diretrizes gerais da ISO 29581:2010 “Cement – Test Methods – Part 2: Chemical analysis by X-ray fluorescence”.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das avaliações da composição química e mineralógica do cimento CP V ARI RS.

3. ESTADO FRESCO DA PASTA

A pasta foi misturada em um dispersor de alta energia, mantendo-se constante a mistura com energia de 10.000rpm por 60 segundos e relação água/cimento de 0,4. Cerca de 100 g de pasta foi adicionada no minicone de Kantro e o espalhamento foi realizado sobre uma base metálica úmida, quantificado após a retirada do molde. Além disso foi ensaiado em calorimetria isotérmica. Neste caso, os ensaios

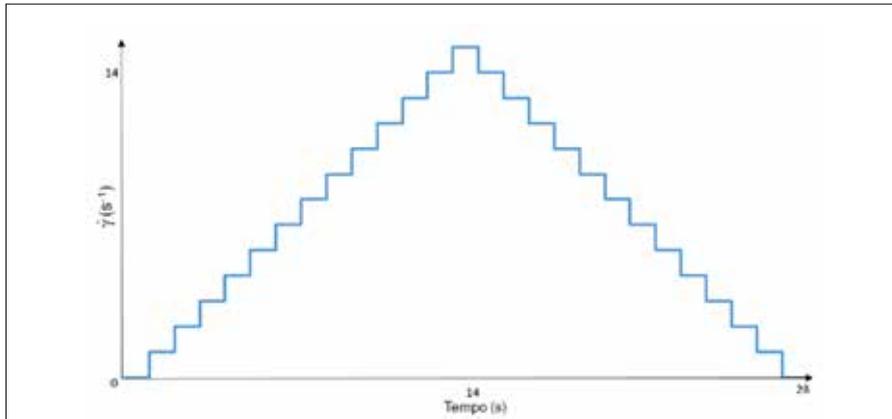


► **Figura 2**
Reômetro Anton Paar
Modelo MCR302

foram realizados somente com a pasta do aditivo PCE versus PCMV[1]. Os estudos de otimização do teor de aditivo na pasta foram realizados por reometria

► **Tabela 1 – Resultados da caracterização química e mineralógica do cimento FRX e DRX**

FRX		DRX	
Determinações – %	CP V ARI RS	Determinações – %	CP V ARI RS
Anidrido silício (SiO ₂)	19,32	Alita	55,8
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	5,36	Belita	8,3
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	2,36	Brownmillerita	5,2
Óxido de cálcio (CaO)	59,86	C3A cúbico	2,4
Óxido de magnésio (MgO)	3,45	C3A ortorrômbico	5,4
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	4,17	Periclásio	2,4
Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,43	Portlandita	1,1
Óxido de potássio (K ₂ O)	0,88	Gesso	–
Óxido de titânio (TiO ₂)	0,25	Calcita	9,9
Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0,14	Gipsita	0,6
Óxido de manganês (Mn ₂ O ₃)	0,18	Hemidrato	5,3
Óxido de estrôncio (SrO)	0,13	Anidrita	0,3
Óxido de cromo (Cr ₂ O ₃)	0,01	Arcanita	0,7
Óxido de zinco (ZnO)	0,03	Quartzo	0
Óxido de bário (BaO)	0,07	Aftitalita	0,8
Perda ao fogo (PF)	3,91	Albita	–
TOTAL	99,55	Singenita	1,7



► **Figura 3**
Esquema do ensaio de reometria

► **Tabela 2 – Traços para testes com policarboxilato convencional e policarboxilato modificador de viscosidade para paredes de concreto**

Materiais	Policarboxilato convencional	Policarboxilato modificador de viscosidade
Cimento (Kg/m ³)	348	295
Areia natural fina (Kg/m ³)	479	423
Areia artificial (Kg/m ³)	479	423
Brita 0 (Kg/m ³)	871	1013
Água (Kg/m ³)	175	183
Relação água/cimento	0,50	0,62
Teor de argamassa (%)	60	53

rotacional. Após a mistura das pastas cimentícias, essas foram adicionadas em um reômetro da marca Anton-Paar, modelo MCR302, ilustrado na Figura 2.

Utilizou-se geometria de placas paralelas de aço inoxidável do tipo *cross*

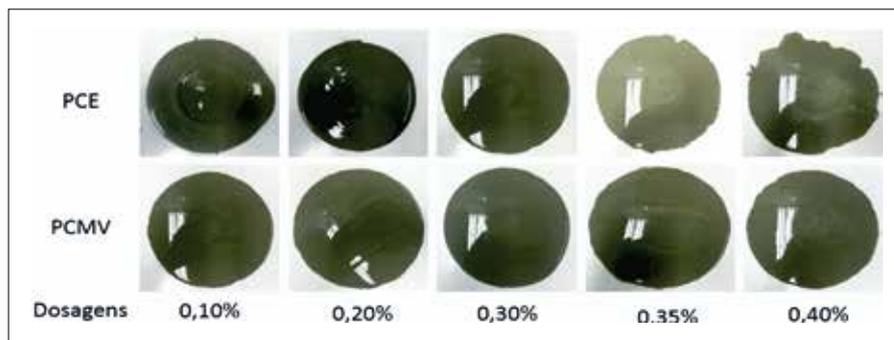
hatched, com diâmetro de 25mm (PP25/P2). Variou-se a quantidade de aditivo para avaliação comparativa da viscosidade e tensão de escoamento.

Os ensaios foram realizados a partir da programação de *stepped flow test* para

a determinação dos parâmetros reológicos e do tipo de comportamento sob solicitação de fluxo. A taxa de cisalhamento foi mantida constante por 10s em cada patamar e a quantificação da tensão de cisalhamento e viscosidade em função da taxa foi realizada a partir de uma média dos últimos 5 segundos (Figura 3)[2].

4. TRAÇOS DO CONCRETO PARA PAREDES

Normalmente os traços para concreto autoadensável necessitam de maior quantidade de materiais finos, como filler, areia bem fina, sílica ativa, cinza da casca de arroz, entre outros, ou, em alguns casos, o cimento (porém, com este último o custo da mistura será elevado), para evitar exsudação e segregação, e garantir que se consiga atingir o espalhamento necessário. Neste estudo foram reduzidas as frações finas da mistura intencionalmente para aumentar o nível de segregação e avaliar o efeito do aditivo PCMV. A composição do concreto para paredes é definida com as mesmas técnicas de concreto autoadensável. Antes de definir a proporção de cada elemento da mistura, foram avaliadas as características do cimento, agregados e da água, primeiramente antes de definir o tipo de aditivo e dose utilizados. As características da mistura foram avaliadas e definidas de acordo com as especificações de aplicação, resistência e fluidez necessárias, principalmente na seleção da relação água/cimento para atingir a durabilidade necessária. Após a seleção do traço, os ensaios foram realizados com foco na avaliação da estabilidade do concreto principalmente na resistência à segregação e exsudação. Para a determinação do traço utilizou-se como referência o manual



► **Figura 4**
Efeito do aumento do teor de aditivo pelo ensaio de cone de Kantro



PCA-Portland Cement Association[3].

No primeiro traço para uso do polycarboxilato convencional[4], utilizou-se uma quantidade maior de cimento, enquanto que, para o uso de polycarboxilato modificador de viscosidade, reduziu-se a quantidade de cimento, mas mesmo assim os resultados de resistência atenderam às especificações para concretos de parede e com menor custo (Tabela 2), como o traço de concreto autoadensável ensaiado com o PCMV permitiu a redução da quantidade de pasta e aumento da quantidade de brita 0, há uma contribuição indireta para o aumento de módulo de elasticidade, embora parâmetro não tenha sido avaliado neste estudo.

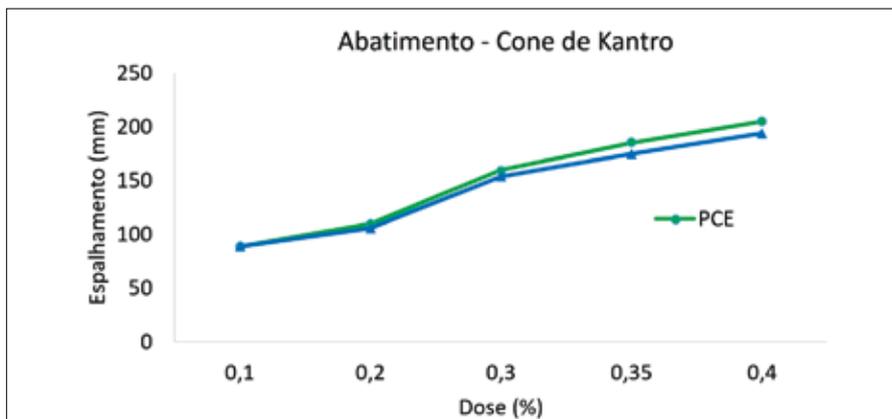
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados os ensaios de fluidez em cone de Kantro para determinar a dosagem ótima de cada aditivo. Com as mesmas doses foram ensaiadas em reometria rotacional as pastas para avaliação da viscosidade e tensão de escoamento, e calorimetria. No Gráfico 1, estão apresentados os valores de espalhamento comparativos do PCE versus PCMV. É possível verificar que, para uma mesma fluidez, é necessária uma dosagem levemente mais alta de PCMV quando comparado ao PCE nas dosagens acima de 0,3%. Essa diferença de dosagem foi considerada para os ensaios em concreto. Dosagens mais altas de aditivo polycarboxilato tendem a aumentar a segregação e exsudação, fato que pode ser avaliado na Figura 4 é possível verificar que o aditivo PCMV, em nenhum dos casos, apresentou exsudação; já o aditivo PCE, após a dosagem de 0,35%, apresenta exsudação, porém os valores de fluidez estão muito próximos.

Foram realizados os ensaios de re-

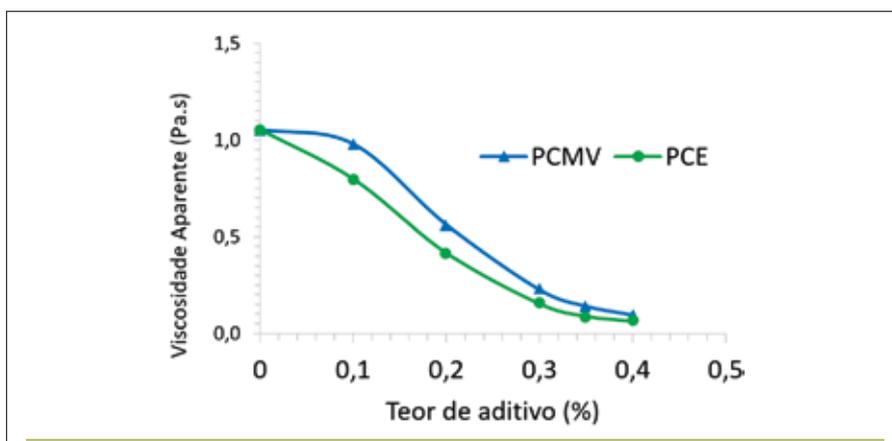
ometria rotacional com ambos aditivos PCE e PCMV, utilizando-se os resulta-

dos de tensão de escoamento, viscosidade aparente para cada dosagem dos



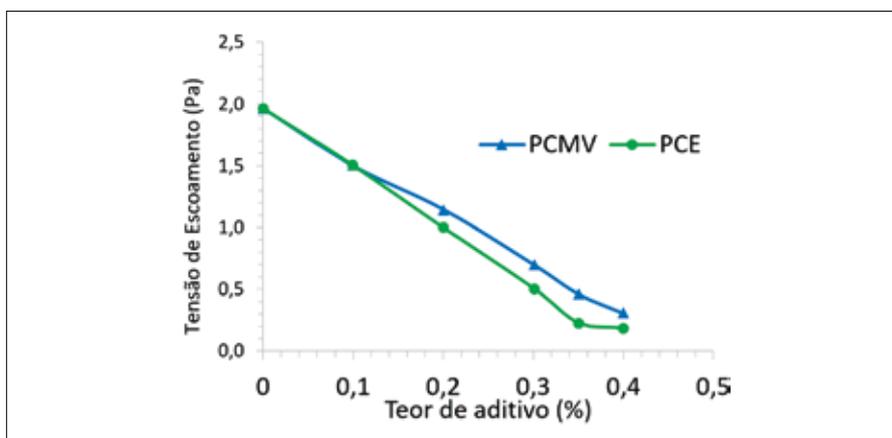
► Gráfico 1

Avaliação do espalhamento de ambos aditivos pelo ensaio de cone de Kantro



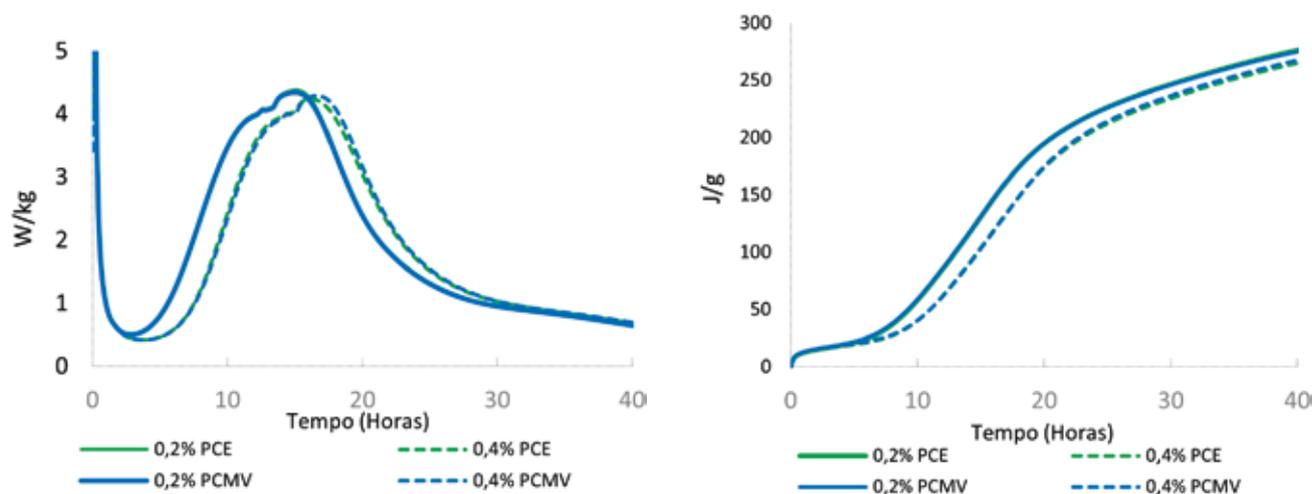
► Gráfico 2

Avaliação da viscosidade aparente para PCE versus PCMV



► Gráfico 3

Avaliação da tensão de escoamento do PCE versus PCMV



► **Gráfico 4**

a: Curva de fluxo de calor; b: Curva de calor acumulado para ambos aditivos

aditivos. Para os resultados de viscosidade neste estudo foram utilizados os parâmetros da máxima taxa de cisalhamento aplicada no ensaio, enquanto que a tensão de escoamento foi quantificada como o valor da tensão de cisalhamento na menor taxa utilizada no ensaio da etapa de desaceleração. No Gráfico 2, estão apresentados os resultados de viscosidade aparente, onde o aditivo PCMV apresenta um perfil de viscosidade mais alto quando comparado ao aditivo PCE.

Esse é um parâmetro importante que contribui com a diminuição da exsudação e segregação do concreto. Já no Gráfico 3 é possível verificar que, nas doses mais baixas de 0,1 e 0,2%, concretos com am-

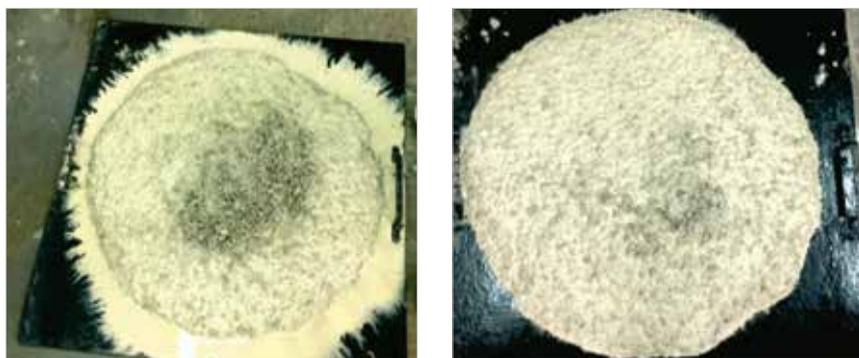
bos aditivos apresentam tensão de escoamento iguais, porém com o aumento da dosagem, essa tensão é diminuída para o aditivo PCE. Isso indica que, para os ensaios em concreto, a dosagem do PCMV deverá ser maior, fato que realmente foi comprovado em concreto com a elevação da dose do aditivo PCMV para o mesmo espalhamento de 700 mm. Mesmo assim nos ensaios em concreto não houve exsudação com o aditivo PCMV.

Os resultados de calorimetria isotérmica demonstram que não houve diferenças entre os aditivos estudados nas doses de 0,2 e 0,4% (Gráfico 4).

Os ensaios em concreto foram realizados conforme Tabela 2. Inicialmen-

te, a mistura foi realizada colocando-se em betoneira de laboratório os agregados graúdos com 50% da quantidade da água definida no desenho da mistura. Posteriormente, foi adicionado o cimento e, na sequência, as areias e o restante da água. A dosagem do aditivo PCE foi de 0,65%, enquanto que, para o aditivo PCMV, foi de 0,70% para atingir o espalhamento de 700 mm, procedeu-se a mistura por 8 minutos, visto que a adição do aditivo foi feita em modo atrasado, ou seja, um minuto após ter sido adicionada a segunda metade da água. Após decorrido o tempo estabelecido foram avaliadas as propriedades do concreto no estado fresco e moldados os cilindros 10x20cm para o ensaio de resistência à compressão axial nas idades de 1, 7 e 28 dias.

O ensaio de espalhamento pelo tronco de cone foi realizado com o cone invertido e ambos os testes apresentaram espalhamento de 700 mm. Porém, a amostra PCE apresentou segregação e exsudação em valores consideráveis, de acordo com a normativa C1712-14 “Visual Segregation Index” e “Prática Recomendada de CAA-Ibracon”, o valor apresentado para a amostra PCE foi de VSI = 3, ou seja, níveis mais altos de segregação.



► **Figura 5**

a) Ensaio em concreto com aditivo PCE;
b) Ensaio em concreto com aditivo PCMV

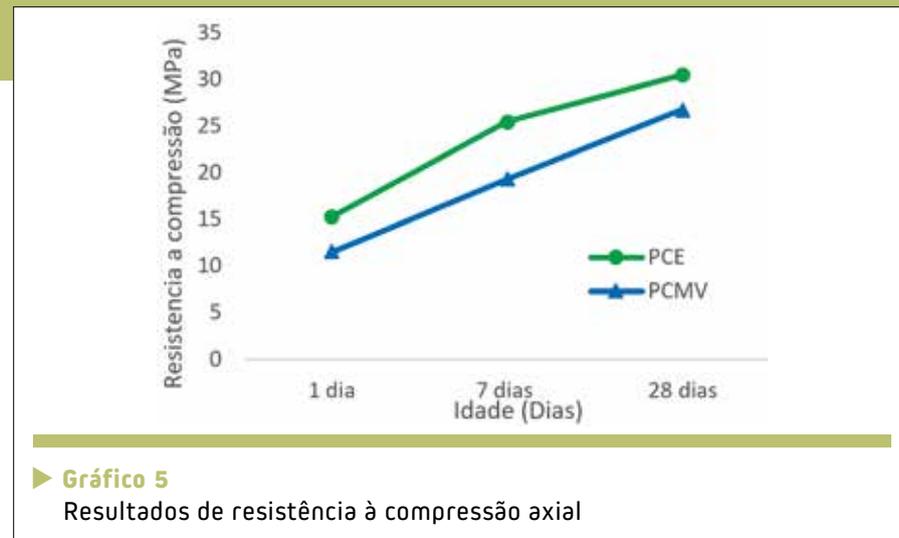


Enquanto que o aditivo PCMV apresentou VSI=0, ou seja, pouca segregação/exsudação, como apresentados na Figura 5 a e b.

Os ensaios de compressão axial foram realizados nas idades iniciais e finais (Gráfico 5). É possível verificar que os valores de resistência inicial e final da amostra PCE estão mais altos quando comparados com a amostra PCMV. Porém, mesmo com a diminuição do teor de finos da mistura, o ensaio realizado com o PCMV apresentou valores de resistência aceitáveis de acordo com os estabelecidos para paredes de concreto, podendo-se apresentar menores custos e melhor acabamento (Figura 6 a e b), conforme o comparativo dos cilindros moldados para ensaio de resistência à compressão axial, onde a mistura feita com o aditivo PCMV apresenta melhor acabamento e melhor coesão.

6. CONCLUSÃO

Através dos resultados apresentados a partir do ensaio de cone de Kantro, foi possível verificar que o aditivo base policarboxilato convencional (PCE) apresenta uma maior tendência à exsudação nas maiores dosagens estudadas. Já o aditivo base policarboxilato modificador de viscosidade (PCMV), mesmo nas dosagens mais altas, não apresentou tendência à exsudação. Os resultados de viscosidade também indicaram que o PCMV nas



► Gráfico 5
Resultados de resistência à compressão axial

mesmas dosagens que o PCE apresentou maior viscosidade aparente, enquanto que, no ensaio de tensão de escoamento, o aditivo PCMV apresentou valores de tensão de escoamento iguais na dosagem mais baixa e esses valores foram aumentando com o aumento da dosagem do aditivo. Esses resultados servem de parâmetros para o desenvolvimento da mistura de concreto para paredes. Esses dados comparativos indicam que o aditivo PCE, embora necessite de uma dosagem menor para mesma tensão de escoamento nas dosagens altas, não permite o uso na prática de tais dosagens por apresentar exsudação e segregação, enquanto que o aditivo PCMV, mesmo em dosagens mais altas, reduz significativamente a exsudação. Esse fato foi evidenciado nos ensaios em concreto, onde mesmo reduzindo a quantidade de finos na mistura, não houve exsudação nem segregação e os desenvolvimentos de resistências, tanto nas idades finais como iniciais, atendem

aos requisitos usuais para concretos de parede. Os valores apresentados nos estudos de calorimetria isotérmica indicam que ambos aditivos apresentaram o mesmo perfil de fluxo de calor e calor acumulado, o que indica, na prática, que nenhum dos aditivos apresentam retardo de pega, sendo o PCMV o aditivo que melhor é aplicável para paredes de concreto para o apresentar menor tendência de exsudação. ◀



► Figura 6
Aspecto do cilindro moldado em concreto com: a) aditivo PCE e b) aditivo PCMV

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] LANGE, A., PLANK, J. Optimization of comb-shaped polycarboxylate cement dispersants to achieve fast-abatimentoing mortar and concrete. Technische Universität München, Chair for Construction Chemistry, Garching, Lichtenbergstraße 4, Germany, 2015.
- [02] LYRA, J.S., ROMANO R.C.O., PILEGGI, R.G., GOLVEA, D. Consolidação de pastas cimentícias contendo policarboxilatos um estudo calorimétrico e reológico. Associação Brasileira de Cerâmica, ANO LVIII - VOL. 58, 346 - ABR/MAI/JUN 2012.
- [03] KOSMATKA, S.H and WILSON, M.L. – Design and Control of Concrete Mixtures –The Guide to applications, method and materials – Fifteenth Edition.-2012.
- [04] RAMACHADRAN, V.S. Concrete. Admixtures Handbook, Properties, Science and Technology. Institute of Research in Construction National Research Council Canadá, Ottawa. 2nd edition. 1995.

Regional da Bahia realiza Seminário sobre desempenho, manutenção e durabilidade das estruturas de concreto

Nos últimos dias 29 e 30 de março a Regional IBRACON na Bahia realizou o I Seminário sobre desempenho, manutenção e durabilidade das estruturas de concreto, em parceria com o Departamento de Construção e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, local de realização do evento.

Com participação de 151 profissionais e estudantes, o Seminário discutiu aspectos de desempenho e durabilidade das estruturas de concreto, com a finalidade de contribuir com a formação profissional e a capacitação técnica dos participantes. Na ocasião foi apresentada a nova diretoria regional do IBRACON.

O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, proferiu palestra no Seminário sobre as normas brasileiras de inspeção das estruturas de concreto. Já o diretor de relações institucionais do Instituto, Prof. Paulo Helene, abordou as lições aprendidas dos erros e acidentes com estruturas de concreto. Por sua vez, o diretor regional do IBRACON e coordenador do Seminário, Prof. Francisco Gabriel Santos Silva tratou da manutenção das estruturas de concreto.

Além de sete palestras, o Seminário contou com dois minicursos: Alvenaria Estrutural – projeto, execução e desempenho, ministrado pelo instrutor Hélio Aragão (STR Construções); e Técnicas não destrutivas para avaliação do concreto, ministrado pelos professores Paulo Helene (PhD Engenharia) e Francisco Gabriel (UFBA). Devido à grande demanda,

o minicurso sobre técnicas não destrutivas para avaliação do concreto teve duas turmas. Nele os participantes tiveram a oportunidade de assistir a aulas práticas numa edificação em construção no próprio campus da UFBA, paralisada há três anos. “A estrutura prestou-se perfeitamente à realização de ensaios especiais de carbonatação, cloretos, esclerometria, potencial de corrosão, ultrassom, extração de testemunhos, e outros ensaios apropriados para estruturas existentes, nas quais se deseja um correto diagnóstico de segurança e vida útil”, avaliou o Prof. Paulo Helene.

Os participantes foram ainda agradecidos com o sorteio de algumas publicações técnicas do IBRACON. Foi feita uma singela homenagem à equipe da UFBA ganhadora dos concursos Aparato de Proteção ao Ovo e Concreto Colorido de Alta Resistência no último Congresso Brasileiro do Concreto. O Seminário contou com o patrocínio da STR Consultoria e Projeto,



Momento da palestra do Prof. Paulo Helene no Seminário

CREA-BA, Odebrecht, Ademi-BA e Proceq e com o apoio da UFBA, Instituto Politécnico da Bahia, Sinduscon-BA, Ceta e Núcleo de Inovação da Construção.

Nos dois dias do evento foram arrecadados cerca de 200 kg de alimentos não perecíveis, doados ao Hospital Aristides Maltez, que vem passando por uma grave crise financeira e que tem como uma de suas missões cuidar de crianças com câncer.



Uma das turmas do curso assiste ao ensaio de esclerometria feito pelo Prof. Paulo Helene em edifício em construção no campus da UFBA

Jornada de Engenharia Civil na Regional Tocantins



Público assiste palestra durante a Jornada de Engenharia e Presidente do IBRACON, Julio Timerman, posa para foto com as ganhadoras de prêmios sorteados pelo IBRACON

Foi realizada de 24 a 28 de abril a VII Jornada de Engenharia Civil no Centro Universitário Luterano de Palmas (Ceulp/Ulbra), em Tocantins, com o objetivo de reunir acadêmicos e profissionais da área para atualização de conhecimento técnico e científico e para a troca de experiências. O evento teve como bandeira a Tecnologia e a Sustentabilidade – os novos desafios da engenharia civil.

Os mais de 500 participantes puderam

assistir a seis palestras proferidas por professores e profissionais renomados, entre eles o presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman (Projeto Estrutural do Museu do Amanhã) e o professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Eng. Nelson Aoki (Risco Geotécnico na Engenharia Civil). Tiveram a oportunidade de escolher entre 16 minicursos, com os mais variados temas, como segurança de barragem, uso de ferramentas computa-

cionais no auxílio em projetos de estruturas de concreto armado e dimensionamento geotécnico de fundações em radier estanqueado. Além disso, os participantes assistiram, envolveram-se ou competiram nos concursos “Pontes de Macarão”, Concrebol e Concreto de alta resistência, estes dois últimos baseados nos concursos nacionais promovidos pelo IBRACON, preparando os estudantes da Regional para as competições em nível nacional.

Semanas acadêmicas na Regional de Santa Catarina

No dia 8 de maio, em Joinville, o diretor técnico do IBRACON em Santa Catarina, Prof. Denis Fernandes Weidmann, ministrou a palestra de abertura da Semana Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da Universidade Católica de Santa Ca-

tarina sobre os concretos empregados na Ponte Anita Garibaldi (Ponte da Laguna).

Já, no dia 9 de maio, o Prof. Luiz Roberto Prudêncio, da Universidade Federal de Santa Catarina, a convite do diretor Regional do IBRACON, Prof.

Joelcio Stocco, ministrou palestra sobre os concretos para a execução de grandes blocos de fundações para os edifícios altos de Balneário Camboriú, na Semana Criativa do curso de Arquitetura e Urbanismo da Unisul.

Regional do Ceará participa da Semana de Engenharia do Instituto Federal

A III Semana de Engenharia Civil do Instituto Federal do Ceará acontece de 19 a 24 de junho, em Fortaleza, com o objetivo de contribuir para a formação de profissionais atualizados

com o mercado e com as demandas da sociedade.

Durante a Semana serão realizadas duas competições em nível regional das competições em nível nacional

promovidas pelo Instituto Brasileiro do Concreto: o Aparato de Proteção ao Ovo e o Quem sabe faz ao vivo.

Mais informações:

<https://www.facebook.com/SEMECIFCE>

Palestras na Regional do Rio de Janeiro

A concepção da estrutura de uma torre e sua fundação, destinada a testes de elevadores de grande velocidade para prédios altos, foi tema de palestra na Regional IBRACON do Rio de Janeiro, no dia 3 de maio, no Clube de Engenharia.

Além dos aspectos de projeto e construção, foi apresentada análise estática, dinâmica e aerodinâmica do sistema estrutural sob ação do vento e avaliação de seu desempenho e estabilidade aerodinâmica.

Com participação de 100 profissionais, a palestra foi ministrada pelo diretor da Controllato Projeto, Monitoração e Controle de Estruturas e professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Eng. Ronaldo Battista, que é também presidente da Associação Sul-Americana de Engenharia Estrutural (ASAAE).

Já no último dia 17 de maio, o presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, esteve no Clube de Engenharia, no Rio de Janeiro, para uma palestra sobre o projeto das estruturas de concreto do Museu do Amanhã.

Em sua apresentação, Julio Timerman, consultor em estruturas, diretor da Engeti Consultoria e Engenharia e vice-presidente da *Internacional Association for Bridges and Structural Engineering (IABSE)*, abordou as características principais da estrutura, as premissas de cálculo, a compatibilização da estrutura com a cobertura metálica e os detalhes executivos dessa obra emblemática no Rio de Janeiro, assinado pelo arquiteto Calatrava.

Para tratar das patologias de alvenarias e acabamentos decorrentes da deformabilidade das estruturas de concreto

armado e das falhas de execução das vedações verticais e acabamentos, a Regional convidou o pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), Eng. Ercio Thomaz, que também é professor da Ycon Formação Continuada e da Academia de Engenharia e Arquitetura (AEA), além de membro do Conselho da Revista Técnica e da Revista CONCRETO & Construções.

Em sua palestra, Thomaz abordou a fluência e a deformabilidade das estruturas de concreto armado e sua relação com as patologias das alvenarias e dos acabamentos nas edificações, bem como as patologias decorrentes de falhas na execução de alvenarias e revestimentos. As palestras foram uma realização do IBRACON, do Clube de Engenharia e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece). 

Sistemas de Fôrmas para Edifícios

Recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos



ANTONIO CARLOS ZORZI

SISTEMAS DE FÔRMAS PARA EDIFÍCIOS: RECOMENDAÇÕES PARA A MELHORIA DA QUALIDADE E DA PRODUTIVIDADE COM REDUÇÃO DE CUSTOS

Autor: Antonio Carlos Zorzi

O livro propõe diretrizes para a racionalização de sistemas de fôrmas empregados na execução de estruturas de concreto armado e que utilizam o molde em madeira

As propostas foram embasadas na vasta experiência do autor, diretor de engenharia da Cyrela, sendo retiradas de sua dissertação de mestrado sobre o tema.

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576237

Formato: 18,6 cm x 23,3 cm

Páginas: 195

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2015

Patrocínio



Aquisição:

www.ibracon.org.br

(Loja Virtual)



Instituto Brasileiro do Concreto

Organização técnico-científica nacional de defesa e valorização da engenharia civil

Fundado em 1972, seu objetivo é **promover e divulgar conhecimento sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos para a cadeia produtiva do concreto**, por meio de publicações técnicas, eventos técnico-científicos, cursos de atualização profissional, certificação de pessoal, reuniões técnicas e premiações.

Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

- Receba gratuitamente as quatro edições anuais da revista **CONCRETO & Construções**
- Tenha descontos de até **50%** nas **publicações técnicas do IBRACON** e de até **20%** nas **publicações do American Concrete Institute (ACI)**
- Descontos nos eventos promovidos e apoiados pelo **IBRACON**, inclusive o **Congresso Brasileiro do Concreto**
- Oportunidade de participar de **Comitês Técnicos**, intercambiando conhecimentos e fazendo valer suas **opiniões técnicas**

Fique bem informado!



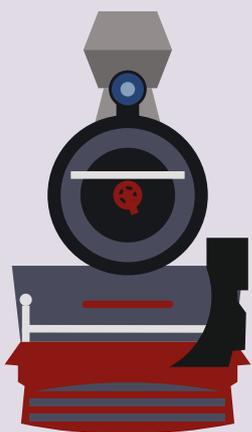
www.ibracon.org.br



facebook.com/ibraconOffice



twitter.com/ibraconOffice



59^a EDIÇÃO
CONGRESSO
BRASILEIRO DO
CONCRETO



BENTO GONÇALVES • RS
31 de outubro a 3 de novembro

2017

Ponto de encontro dos profissionais e das empresas brasileiras da cadeia produtiva do concreto



TEMAS

- ▶ Gestão e Normalização
- ▶ Materiais e Produtos Específicos
- ▶ Materiais e Propriedades
- ▶ Sistemas Construtivos Específicos
- ▶ Projeto de Estruturas
- ▶ Sustentabilidade
- ▶ Métodos Construtivos
- ▶ Ensaaios não Destrutivos
- ▶ Análise Estrutural

Acesse

www.ibracon.org.br
(clique no logotipo do evento)

COTAS DE PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- ▶ Excelentes oportunidades para divulgação, promoção e relacionamento
- ▶ Espaços comerciais na XIII FEIBRACON - Feira Brasileira das Construções em Concreto
- ▶ Palestras técnico-comerciais no Seminário de Novas Tecnologias
- ▶ Inscrições gratuitas

Informe-se sobre as cotas de patrocínio e exposição: **Tel. (11) 3735-0202**
e-mail: arlene@ibracon.org.br

REALIZAÇÃO



Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, nº 68 – Jardim Olímpia | CEP 05542-120
São Paulo – SP – Brasil | Telefone (11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

www.ibracon.org.br twitter.com/ibraconOffice
facebook.com/ibraconOffice